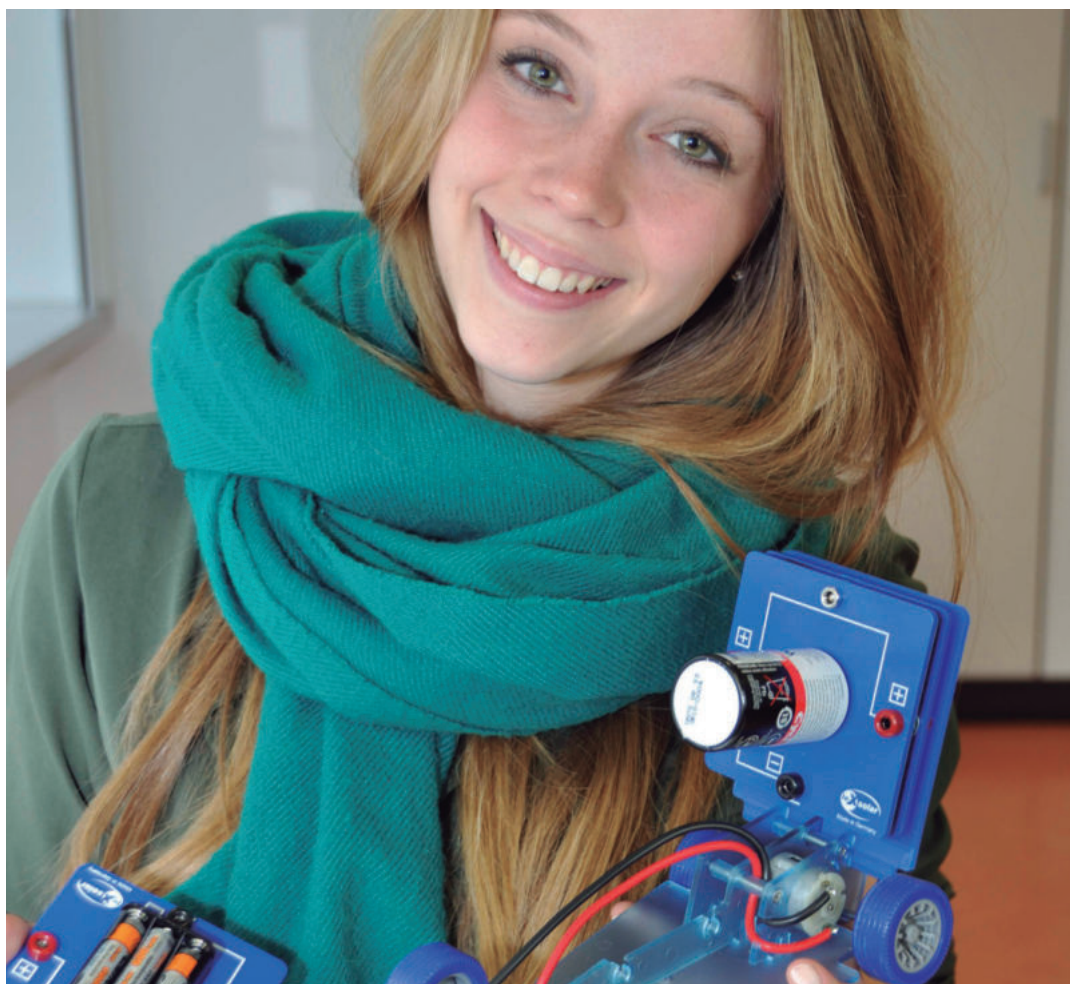
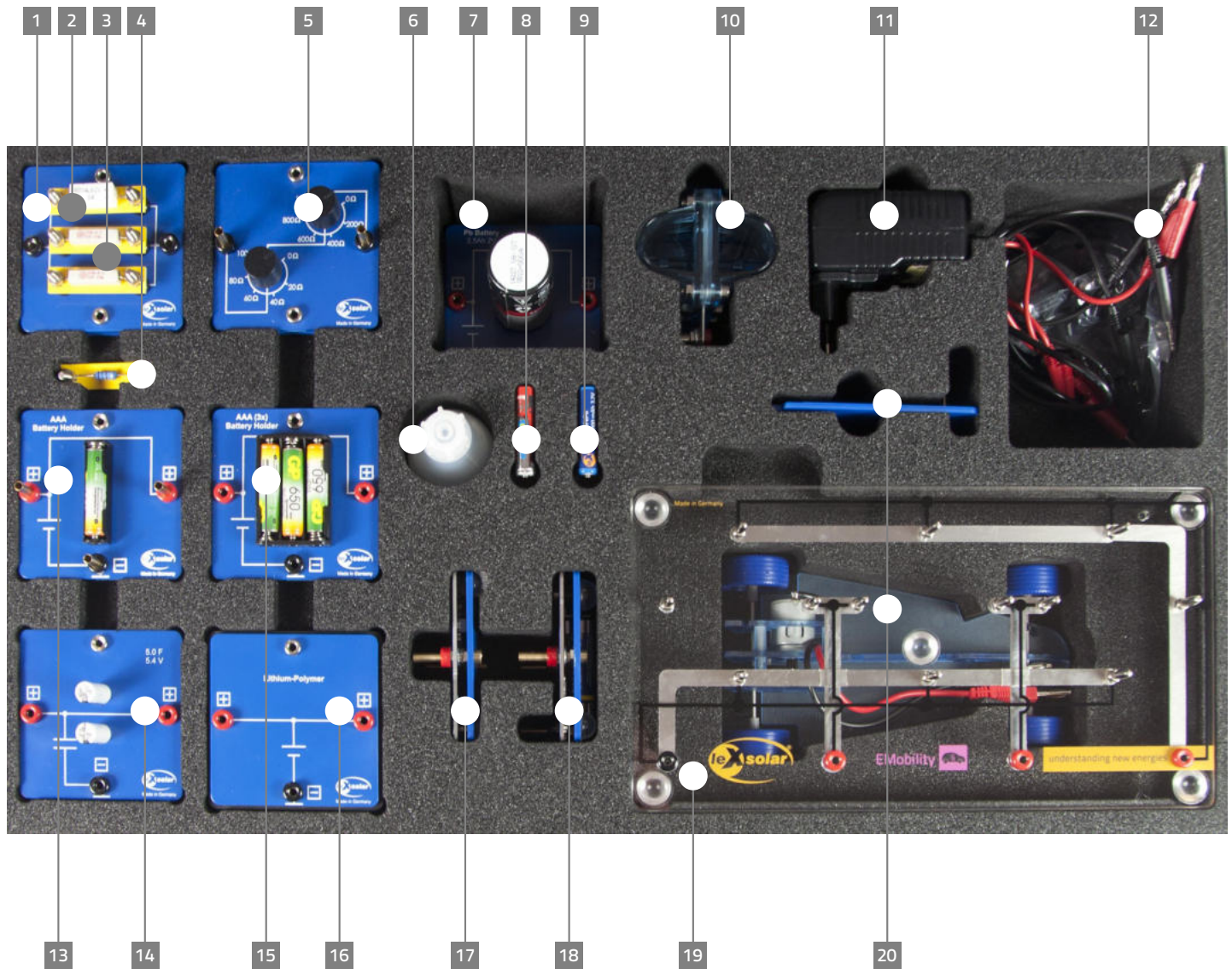


# leXsolar-EMobility Ready-to-go



Anleitungsheft

Layout diagram leXsolar-EMobility Ready-to-go  
 Item-No.1803  
 Bestückungsplan leXsolar-EMobility Ready-to-go  
 Art.-Nr.1803



- |   |   |  |
|---|---|--|
| <p><b>1</b> 1800-01 Resistor module (triple) Pro<br/>1800-01 Widerstandsmodul 3-fach Pro</p> <p><b>2</b> 1800-03 Resistor plug element 1 Ohm<br/>1800-03 Widerstands-Steckelement 1 Ohm</p> <p><b>3</b> 2x1800-05 Resistor plug element 10 Ohm<br/>2x1800-05 Widerstands-Steckelement 10 Ohm</p> <p><b>4</b> 1800-04 Resistor plug element 100 Ohm<br/>1800-04 Widerstands-Steckelement 100 Ohm</p> <p><b>5</b> 1100-62 Potentiometer module<br/>1100-62 Potentiometermodul</p> | <p><b>6</b> 1800-15 Distilled water<br/>1800-15 Destilliertes Wasser</p> <p><b>7</b> 1800-13 Lead (Pb)-battery module Pro<br/>1800-13 Blei-Akkumodul Pro</p> <p><b>8</b> L2-04-102 NiZn-battery AAA<br/>L2-04-102 NiZn-Akku AAA</p> <p><b>9</b> 1801-06 LiFePo-battery AAA<br/>1801-06 LiFePo-Akku AAA</p> <p><b>10</b> L2-06-067 Reversible Fuel cell Pro<br/>L2-06-067 Reversible Brennstoffzelle Pro</p> <p><b>11</b> Universal-power supply with <b>17</b><br/>Stromversorgungsgerät mit <b>17</b></p> <p><b>12</b> 2xL2-06-012/013 Test leads black/red<br/>2xL2-06-012/013 Messleitung schw./rot</p> <p><b>13</b> 1800-08 Battery module holder 1xAAA Pro<br/>with L2-04-021 NiMH battery AAA<br/>1800-08 Akkuhalterungsmodul 1xAAA Pro<br/>mit L2-04-021 NiMH-Akku AAA</p> | <p><b>14</b> 1118-11 Capacitor modul Pro<br/>1118-11 Kondensatormodul Pro</p> <p><b>15</b> 1118-09 NiMH Battery module 3xAAA Pro<br/>1118-09 Akkumodul NiMH 3xAAA Pro</p> <p><b>16</b> 1800-07 Lithium-polymer-battery module<br/>1800-07 Lithium-Polymer-Akkumodul Pro</p> <p><b>17</b> 9100-13 ChargerModule<br/>9100-13 ChargerModul</p> <p><b>18</b> 9100-03 AV-Module<br/>9100-03 AV-Modul</p> <p><b>19</b> 1801-07 leXsolar Base unit EMobility<br/>1801-07 leXsolar Grundeinheit EMobility</p> <p><b>20</b> 1801-02 Electric model car<br/>1801-02 Elektro-Modellfahrzeug</p> |
|---|---|--|

Version number  
 Versionsnummer

L3-03-167\_02.02.2017

# leXsolar-EMobility Ready-to-go

## Schülerheft

### Inhalt

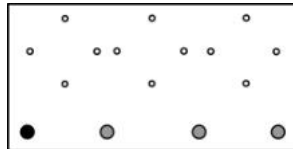
Bezeichnung und Handhabung der Experimentiergeräte .....	5
Allgemeine Hinweise zum sicheren Umgang mit Akkus und Ladegeräten.....	12
1.1 Das ohmsche Gesetz .....	13
1.2 Reihenschaltung von ohmschen Widerständen.....	14
1.3 Parallelschaltung von ohmschen Widerständen .....	16
2.1 Die Nennspannung und Kapazität von Spannungsquellen.....	17
2.2 Die Vierpunkt-Messung .....	20
2.3 Der Innenwiderstand von Spannungsquellen .....	22
2.4 Reihenschaltung von Spannungsquellen .....	25
2.5 Die Speicherkapazität eines Akku-Moduls .....	27
2.6 Der Energiegehalt verschiedener Akkumodule .....	30
2.7 Der $R_i$ -Wirkungsgrad eines Akkumoduls.....	34
2.8 Der Gesamtwirkungsgrad einer Batterie .....	37
2.9 Temperaturverhalten der Lithium-Polymerzelle .....	41
3.1 Das Ladeverhalten des Kondensators .....	44
3.2 Das Entladeverhalten des Kondensators .....	48
4.1 U-I-Kennlinie des einfachen NiMH-Akkumoduls .....	51
4.2 U-I-Kennlinie des NiZn-Akkumoduls .....	54
4.3 U-I-Kennlinie des LiFePo-Akkumoduls.....	57
4.4 U-I-Kennlinie des Blei-Akkumoduls .....	60
4.5 U-I-Kennlinie des Lithium-Polymer-Akkumoduls.....	63
4.6 U-I-Kennlinie des dreifachen NiMH-Akkumoduls .....	66
5.1 Das Ladeverfahren des NiMH-Akkus .....	69
5.2 Das Ladeverfahren des NiZn-Akkus .....	72
5.3 Das Ladeverfahren des LiFePo-Akkus.....	75
5.4 Das Ladeverfahren des Blei-Akkus .....	78
5.5 Das Ladeverfahren des LiPo-Akkus.....	81
5.6 Das Entladeverfahren eines Akkumoduls .....	84
6.1 Die Wasserstoffproduktion der reversiblen Brennstoffzelle .....	86
6.2 Die Kennlinie des Elektrolyseurs .....	88

6.3 Der Wasserstoffverbrauch einer Brennstoffzelle.....	90
6.4 Die Kennlinie der Brennstoffzelle .....	92
6.5 Der Wirkungsgrad der Brennstoffzelle .....	95
7.1 Betrieb des Elektroautos mit verschiedenen Akkumodulen .....	97
7.2 Betrieb des Elektroautos mit einer Brennstoffzelle .....	100

## Bezeichnung und Handhabung der Experimentiergeräte

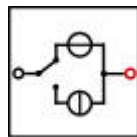
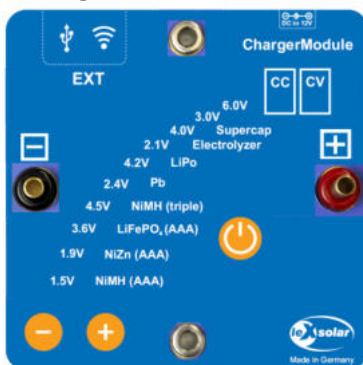
In der folgenden Auflistung werden alle im leXsolar-EMobility Ready-to-go enthaltenen Einzelteile aufgeführt. Zu jeder Komponente finden Sie die Bezeichnung mit Artikelnummer, eine Abbildung, das Piktogramm in den Versuchsaufbauten und Hinweise zur Bedienung. Mit Hilfe der Artikelnummer können Sie jedes Einzelteil separat nachbestellen.

### leXsolar Grundeinheit EMobility 1801-07



Die Grundeinheit ist eine Steckplatine, auf der bis zu 3 Module in Reihe und parallel zueinander geschaltet werden können. Der Strom fließt über die an der Unterseite angebrachten Leitungen. Zur besseren Veranschaulichung sind die elektrischen Verbindungen auf der Grundeinheit schwarz aufgedruckt.

### ChargerModul 9100-13



Das ChargerModul ist ein kompaktes und intuitiv zu bedienendes Universalladegerät für 6 Akkumodule, den Kondensator und Elektrolyseur. Mit den zusätzlichen Festspannungsausgängen können konstant 3V, bzw. 6V angelegt werden. Zum Betrieb muss zunächst das beiliegende Steckernetzteil in die Steckdose gesteckt und mit der Eingangsbuchse oben rechts am ChargerModul verbunden werden. Das Ladeprogramm wird mit der „+“- und „-“-Taste ausgewählt und durch die LEDs angezeigt. Ist das gewünschte Programm eingestellt, wird mit dem Einschalt-Button die Spannung an die Ausgangsbuchsen angelegt. Während des Ladeprozesses blinkt die Power-Enable LED im Sekundentakt und alle Tasten sind gesperrt. Durch das Drücken auf die Power-Enable Taste für 0,5s kann das Programm abgebrochen werden. Ist der Ladeprozess beendet, erfolgt ein akustisches Signal (3 laute „mittelhohe“ Pieptöne, insgesamt ca. 2 Sekunden lang) und die Power-Enable LED leuchtet durchgängig.

Beim Laden wird je nach Modul zwischen einem CC-Ladeverfahren (Constant Current, konstanter Strom) und einem CV-Ladeverfahren (Constant Voltage, konstante Spannung) unterschieden. Bei den meisten Akkumodulen wird zum Laden ein kombinierter CC/CV-Ladevorgang angewendet. Die obersten LEDs (CC/CV) zeigen an, in welchem Ladeverfahren sich das ChargerModul befindet.



Bei einem offenen Ausgang (zum Beispiel wenn kein Akkumodul am Charger angeschlossen ist) erfolgen fünf hohe Pieptöne und das Ladeprogramm wird direkt abgebrochen. Liegt die Spannung des angeschlossenen Akkumoduls über der maximalen Ladespannung (weil zum Beispiel ein falscher Akku angeschlossen ist) oder unter der festgelegten Entladeschlussspannung (zum Beispiel falscher Akku oder Tiefentladung), dann wird das Ladeprogramm ebenfalls abgebrochen. Unabhängig vom angeschlossenen Modul schaltet der Charger nach 1h ab, um eine versehentliche Überladung des Akkumoduls zu vermeiden. Falls der angeschlossene Akku zu stark entladen ist und die Spannung dadurch unterhalb der festgelegten Entladeschlussspannung liegt, kann der Akku mit dem Festspannungsmodus von 3V und einem in Reihe geschalteten Widerstand von  $10\Omega$  aufgeladen werden, bis die Spannung kurz über der Entladeschlussspannung liegt.

Folgende Ladeprogramme können mithilfe des ChargerModuls ausgewählt werden:

**NiMH (AAA):**

- Ausschließlich CC-Verfahren ( $I=250\text{ mA}$ ) OHNE CV-Verfahren
- Obere Grenze für Spannung: 1,6V
- Untere Grenze für Spannung: 1V

**NiZn (AAA):**

- Zunächst CC-Ladeverfahren ( $I=250\text{ mA}$ ) bis zu einer Umschaltspannung  $U=1,8\text{ V}$
- Anschließend CV-Ladeverfahren bis zu einem Abschaltstrom von 100mA
- Obere Grenze für Spannung: 2V
- Untere Grenze für Spannung: 1,3V

**LiFePo (AAA):**

- Zunächst CC-Ladeverfahren ( $I=200\text{ mA}$ ) bis zu einer Umschaltspannung  $U=3,6\text{ V}$
- Anschließend CV-Ladeverfahren bis zu einem Abschaltstrom von 100mA
- Obere Grenze für Spannung: 3,7V
- Untere Grenze für Spannung: 2,8V

**NiMH (triple):**

- Ausschließlich CC-Verfahren ( $I=250\text{ mA}$ ) OHNE CV-Verfahren
- Obere Grenze für Spannung: 4,8V
- Untere Grenze für Spannung: 3V

**Pb:**

- Zunächst CC-Ladeverfahren ( $I=500\text{ mA}$ ) bis zu einer Umschaltspannung  $U=2,35\text{ V}$
- Anschließend CV-Ladeverfahren bis zu einem Abschaltstrom von 200mA
- Obere Grenze für Spannung: 2,45V
- Untere Grenze für Spannung: 1,8V

**LiPo:**

- Zunächst CC-Ladeverfahren ( $I=500\text{ mA}$ ) bis zu einer Umschaltspannung  $U=4,1\text{ V}$
- Anschließend CV-Ladeverfahren bis zu einem Abschaltstrom von 200mA
- Obere Grenze für Spannung: 4,3V
- Untere Grenze für Spannung: 3V

**Electrolyzer:**

- Nur CV-Ladeverfahren ( $U=2,1\text{ V}$ )

**Supercap:**

- Nur CV-Ladeverfahren mit 4V bis zum Abschaltstrom von 50mA
- Strombegrenzung 2A
- Unabhängig von Strom Abschalten nach  $t = 10\text{ min}$

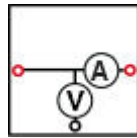
**3V:**

- Konstante Festspannung von 3V

**6V:**

- Konstante Festspannung von 6V

## AV-Modul 9100-03



Das AV-Modul ist ein kombiniertes Spannungs- und Strommessgerät. Es besitzt 3 Tasten, deren Funktionen jeweils im Display angezeigt werden. Durch das Drücken einer beliebigen Taste wird das Modul eingeschaltet. Im ausgeschalteten Zustand ist im Display das leXsolar-Logo zu sehen. Wenn das Display nichts anzeigt oder beim Betrieb „Bat“ angezeigt wird, müssen die Batterien auf der Rückseite ausgetauscht werden (2 x AA Batterien oder Akkus 1,2 bis 1,5V; Die Polarität beim Einsetzen der Batterien gemäß Markierung am Boden des Batteriefachs ist zu beachten! Beim Einlegen der Batterien dürfen die Touchfelder nicht berührt werden).

Mit der Taste rechts oben kann zwischen den 3 Modi Spannungsmessung, Stromstärkemessung und kombinierte Spannungs- und Stromstärkemessung gewechselt werden. Der Messmodus und der Anschluss der Kabel an das Modul werden durch die Schaltsymbole im Display angezeigt. Im Modus der Spannungsmessung ist zu beachten, dass kein Strom zur rechten Buchse fließt. Im kombinierten Modus kann die Spannung sowohl über die rechte als auch die linke Buchse gemessen werden. Der Einfluss des Innenwiderstands der Stromstärkemessung wird intern kompensiert. Der Messwert ist vorzeichenbehaftet. Liegt der positive Pol an einer der roten und der negative Pol an der schwarzen Buchse an, ergibt die Spannungsmessung ein positives Ergebnis. Fließt der Strom von der linken zur rechten Buchse ist die angezeigte Stromstärke positiv.

Nach 30 min ohne Tastendruck oder nach 10 min ohne Messwertveränderung schaltet sich das Modul automatisch aus. Das AV-Modul kann Spannungen bis 12 V und Stromstärken bis 2 A messen. Falls eine dieser Größen überschritten wird, unterbricht das Modul den Stromfluss und es erscheint „overvoltage“ bzw. „overcurrent“ im Display. Diese Fehlermeldung kann durch Betätigen der entsprechenden Taste bestätigt werden. Befinden sich die Messwerte wieder im zulässigen Bereich, misst das Modul weiter.

### Technische Daten:

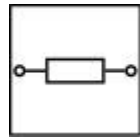
#### Spannungsmessung:

- Messbereich: 0...12 V
- Genauigkeit: 1 mV
- Automatische Abschaltung bei Überspannung >12 V (Wiedereinschalten durch Touchbutton)

#### Strommessung:

- Messbereich: 0...2 A
- Genauigkeit: 0,1 mA (0...199 mA) und 1 mA (200 mA...1 A)
- Automatiksicherung >2 A (Wiedereinschalten durch Touchbutton)
- Innenwiderstand <0,5 Ohm (0...200 mA); <0,2 Ohm (200 mA...2 A)

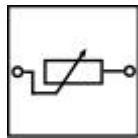
### Widerstandsmodul, 3-fach 1800-01 mit Widerstandssteckelementen



Mit Hilfe des Widerstandsmoduls können Parallelschaltungen verschiedener Widerstandsteckelemente realisiert werden. Folgende Widerstandssteckelemente sind im Experimentiersystem enthalten:

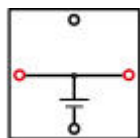
1 x R=1Ω	1800-03
2 x R=10Ω	1800-05
1 x R=100Ω	1800-04

### Potentiometermodul 1118-04



Das Potentiometermodul besteht aus einem 0-10Ω-Drehwiderstand und einem 0-100Ω-Drehwiderstand. Beide sind in Reihe geschaltet, sodass das Potentiometermodul Widerstände zwischen 0Ω bis 110Ω annehmen kann. Die Messungenauigkeit beim Einstellen eines Widerstandes liegt bei 0,5Ω beim kleineren und bei etwa 5Ω beim 100Ω-Drehwiderstand.

### Kondensatormodul 1118-11





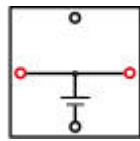
Das Kondensatormodul besteht aus zwei in Reihe geschalteten Kondensatoren. Die maximale Spannung des Kondensatormoduls beträgt 5,4 V. Zum Aufladen sollte keine höhere Spannung als 5V angelegt werden. Zum Entladen kann der Kondensator kurzgeschlossen werden, da Sicherungen im Modul eine zu hohe Stromstärke verhindern. Zum schnellen Aufladen kann der Kondensator direkt an das ChargerModul angeschlossen werden. Im Experiment kann der Kondensator auch im Festspannungsmodus geladen werden.

Technische Daten:

Kapazität: 5 F

Spannung: 5,4 V

**Blei-Akkumodul 1800-13**



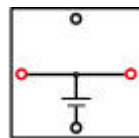
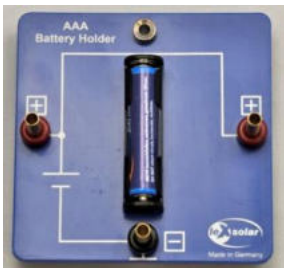
Technische Daten:

$U=1,9V \dots 2,15V$

Entladeschlussspannung: 1,9V

Max. Ladespannung 2,35V

**LiFePo-Akku AAA 1801-06 mit Halterung 1800-08**



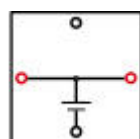
Technische Daten:

$U= 3,2V \dots 3,4V$

Entladeschlussspannung: 2,8 V

Max. Ladespannung: 3,6 V

**Lithium-Polymer (LiPo)-Akkumodul 1800-07**



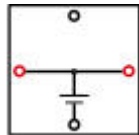
Technische Daten:

$U=3V \dots 4,2V$

Entladeschlussspannung: 3V

Max. Ladespannung: 4,2V

**NiMH-Akkumodul, einfach**



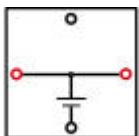
Technische Daten:

$U=1,0V \dots 1,35V$

Entladeschlussspannung: 1V

Max. Ladespannung: 1,6V

**NiMH-Akkumodul, dreifach 1118-09**



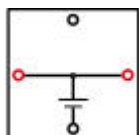
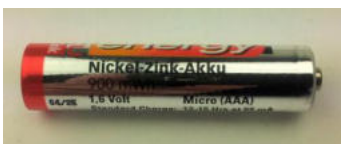
Technische Daten:

$U=3V \dots 4,05V$

Entladeschlussspannung: 3V

Max. Ladespannung: 4,8V

**NiZn-Akkumodul L2-04-102**



Technische Daten:

$U=1,3V \dots 1,8V$

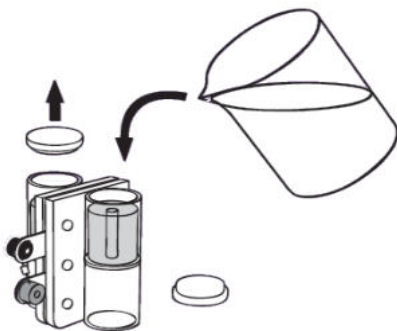
Entladeschlussspannung: 1,3V

Max. Ladespannung: 1,9V

## Reversible Brennstoffzelle L2-06-067 mit Destilliertem Wasser 1800-15



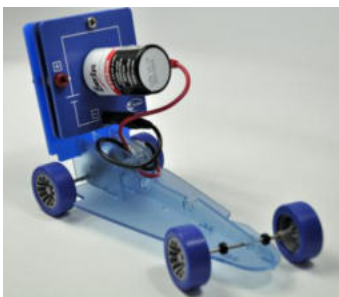
Die reversible Brennstoffzelle besteht aus einem Elektrolyseur und einer Brennstoffzelle. Zum Befüllen der reversiblen Brennstoffzelle sollte folgendermaßen vorgegangen werden:



1. Befülle die rev. Brennstoffzelle mit destilliertem Wasser wie in nebenstehender Abbildung gezeigt.
2. Fülle beide Speicherzylinder bis zum oberen Ende des Röhrchens im Inneren des Zylinders mit destilliertem Wasser auf.
3. Klopfe die rev. Brennstoffzelle leicht auf den Tisch.
4. Fülle weiter destilliertes Wasser nach, bis es durch die Röhrchen läuft.
5. Verschließe die Speicherzylinder mit den Stopfen und drehe die Zelle für den Betrieb wieder um. (Stopfen müssen für den Betrieb unten liegen)

Zur schnellen Erzeugung von Wasserstoff kann die Brennstoffzelle an das ChargerModul (Ladeprogramm „Electrolyzer“) angeschlossen werden.

## Elektro-Modellfahrzeug 1801-02



Mithilfe des beigefügten Elektro-Modellfahrzeugs können die Eigenschaften der verschiedenen Akkumodule auf sehr anschauliche Art und Weise aufgezeigt werden.

Dazu wird zunächst die zugehörige Modulplatte in die Aussparungen am hinteren Teil des Autos gesteckt. Auf dieser Modulplatte können dann die Akkumodule befestigt werden. Die Brennstoffzelle kann direkt auf dem Elektroauto mithilfe der Aussparungen befestigt werden.

Zum Betrieb des Elektroautos muss dieses zum Schluss elektrisch verbunden werden mit dem jeweiligen Akkumodul. Dazu stecken Sie zunächst ein Kabel in die zugehörige Buchse (Polarität beachten) und setzen das Auto auf dem Boden ab. Nun kann das zweite Kabel eingesteckt und das Auto losgelassen werden.

Anhand der Einstellung der vorderen Radachse kann die Richtung des Autos bestimmt werden (geradeaus oder Kreisbahn).

## Allgemeine Hinweise zum sicheren Umgang mit Akkus und Ladegeräten

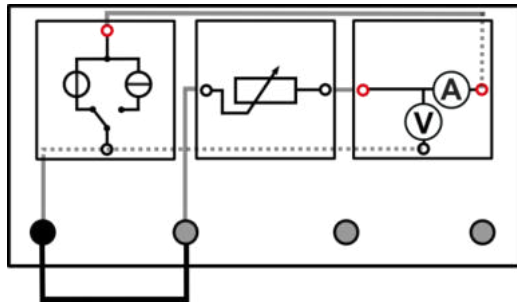
- Akkus und Ladegeräte sind kein Spielzeug! Lassen Sie Akkus daher nicht offen herumliegen, es besteht die Gefahr, dass Teile der Akkus verschluckt werden. In diesem Fall muss sofort ein Arzt aufgesucht werden.
- Akkus dürfen **niemals** kurzgeschlossen, zerlegt oder ins Feuer geworfen werden aufgrund von Brand- und Explosionsgefahr!
- Ausgelaufene oder beschädigte Akkus können Verätzungen verursachen, in diesem Fall sollten die Akkus nur mit Schutzhandschuhen berührt werden.
- Herkömmliche nicht wieder aufladbare Batterien dürfen nicht aufgeladen werden aufgrund von Brand- und Explosionsgefahr. Sie müssen ordnungsgemäß entsorgt werden, wenn sie entladen sind.
- Akkus dürfen nicht feucht oder nass werden.
- Beim Laden eines Akkus muss auf die richtige Polung geachtet werden, da sonst Brand- und Explosionsgefahr besteht.
- Akkus, die noch heiß sind, zum Beispiel durch hohe Entladeströme, sollten nicht geladen werden. Der Akku sollte zuerst auf Zimmertemperatur abkühlen.
- Laden/Entladen Sie niemals beschädigte, ausgelaufene oder verformte Akkus aufgrund von Brand- und Explosionsgefahr.
- Akkupacks sollten niemals aus unterschiedlichen Zellen zusammengestellt werden!
- Die Akkus müssen etwa alle drei Monate nachgeladen werden, da es ansonsten zu einer sogenannten Tiefentladung kommt, welche die Akkus unbrauchbar macht.
- Nach dem vollständigen Aufladen sollten die Akkus vom Ladegerät getrennt werden.
- Die Außenhülle eines Akkus darf aufgrund von Brand- und Explosionsgefahr niemals beschädigt werden.
- Beim Laden sollten Akku und Ladegerät auf nicht brennbaren und hitzebeständigen Oberflächen platziert werden.
- Beim Laden sollte aufgrund von Hitzeentwicklung eine ausreichende Belüftung gewährleistet sein. Akku und Ladegerät dürfen nicht abgedeckt werden.
- Laden oder Entladen Sie Akkus niemals unbeaufsichtigt.
- Die Akkus sollten niemals zerlegt oder beschädigt werden. Ebenso sollte jegliche mechanische Belastung des Akkus vermieden werden.
- Die Akkus dürfen nicht überhitzen, sie sollten daher nicht neben Wärmequellen platziert werden und vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt werden.
- Entsorgen Sie den Akku umweltgerecht.
- Verwenden Sie zum Aufladen eines Akkus mit Lithiumtechnik nur ein dafür geeignetes Ladegerät. Herkömmliche Ladegeräte für NiCd-, NiMH- oder Bleiakkus dürfen nicht verwendet werden, es besteht Brand- und Explosionsgefahr!

## 1.1 Das ohmsche Gesetz

### Aufgabe

Untersuchen Sie das ohmsche Gesetz mithilfe verschiedener Widerstände.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 Grundeinheit
- 1 ChargerModul
- 1 Potentiometermodul
- 1 AV-Modul
- 1 Laborkabel

### Durchführung

1. Bauen Sie den Versuch entsprechend dem Schaltplan auf. Das ChargerModul wird im Versuch um 90° gedreht aufgesteckt (siehe Skizze). Verwenden Sie das ChargerModul im Festspannungsmodus mit 6V. Hinweise zur Handhabung finden Sie auf Seite 5.
2. Messen Sie den Strom  $I$  und die Spannung  $U$  bei verschiedenen Widerständen  $R$  am Potentiometer. Entnehmen Sie die Widerstände der Messwertetabelle. Verwenden Sie das AV-Modul im Strom-Spannungs-Modus. Hinweise zur Handhabung finden Sie auf Seite 7.
3. Notieren Sie Ihre Messwerte (siehe Tabelle) und berechnen Sie jeweils den Quotienten  $U/I$ .

### Messwerte

$R$ ( $\Omega$ )	100	80	60	40	20
$U$ (V)					
$I$ (mA)					
$U/I$ ( $\Omega$ )					

### Auswertung

1. Benennen Sie den Zusammenhang zwischen dem Widerstand  $R$  und dem Quotienten  $U/I$ . Leiten Sie hieraus eine Gesetzmäßigkeit ab.

---



---



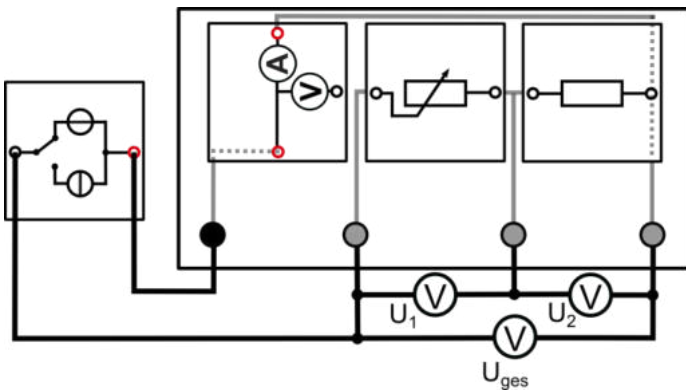
---

## 1.2 Reihenschaltung von ohmschen Widerständen

### Aufgabe

Untersuchen Sie die Reihenschaltung von ohmschen Widerständen

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 Grundeinheit
- 1 ChargerModul
- 1 Potentiometermodul
- 1 Widerstandsmodul, 3-fach
- 1 Widerstandssteckelement ( $R=100\Omega$ )
- 1 AV-Modul
- 4 Laborkabel

*Zusätzlich benötigt:*

- 1 Spannungsmessgerät

### Durchführung

1. Bauen Sie den Versuch entsprechend dem Schaltplan auf. Verwenden Sie das ChargerModul im Festspannungsmodus mit 6V. Hinweise zur Handhabung finden Sie auf Seite 5.
2. Stellen Sie das Potentiometer auf einen Widerstand von  $R_{Pot}=100\Omega$  ein und verwenden Sie das Widerstandssteckelement von  $R_S=100\Omega$  auf dem dreifachen Widerstandsmodul.
3. Messen Sie jeweils den Strom  $I$  (am AV-Modul), die Spannung über beiden Widerständen ( $U_{ges}$ ) und die Einzelspannung ( $U_1, U_2$ )

**Hinweis:** Das AV-Modul wird bei diesem Versuch um  $90^\circ$  gedreht aufgesteckt (siehe Skizze). Es wird zum Messen der Stromstärke im Stromstärke-Modus betrieben. Falls kein zusätzliches Spannungsmessgerät verfügbar ist, kann die Spannung auch mit dem AV-Modul im Spannungsmodus gemessen werden. Dazu muss der Steckplatz des AV-Moduls elektrisch überbrückt werden mithilfe eines Kabels. Hinweise zur Handhabung des AV-Moduls finden Sie auf Seite 7.

4. Wiederholen Sie die Messung für verschiedene Widerstandswerte am Potentiometer  $R_{Pot}$  (siehe Tabelle).
5. Notieren Sie ihre Messwerte in der Tabelle.

### Messwerte

$R_S (\Omega)$	100	80	60	40	20
$U_1 (V)$					
$U_2 (V)$					
$U_{ges} (V)$					
$I (mA)$					
$R_{ges}=U_{ges}/I (\Omega)$					





## 1.2 Reihenschaltung von ohmschen Widerständen

## Auswertung

1. Berechnen Sie jeweils den Quotienten  $R_{\text{ges}} = U_{\text{ges}}/I$  und tragen Sie die Werte in die Tabelle ein.
2. Berechnen Sie jeweils die Summe der Einzelspannungen ( $U_1, U_2$ ) und vergleichen Sie diese mit der Spannung über beiden Widerständen ( $U_{\text{ges}}$ ).
3. Erläutern Sie den Einfluss, den die Widerstände auf die Stromstärke  $I$  und die Spannungen  $U_1, U_2$  und  $U_{\text{ges}}$  haben.
4. Erläutern Sie den Zusammenhang zwischen dem Gesamtwiderstand  $R_{\text{ges}}$  und den Einzelwiderständen. Formulieren Sie, ausgehend von Ihren Messergebnissen eine Gesetzmäßigkeit für die Berechnung des Gesamtwiderstandes bei der Reihenschaltung von Widerständen.

1.

	$U_1 + U_2$	$U_{\text{ges}}$
$R_{\text{Pot}} = 100\Omega / R_{\text{S}} = 100\Omega$		
$R_{\text{Pot}} = 80\Omega / R_{\text{S}} = 100\Omega$		
$R_{\text{Pot}} = 60\Omega / R_{\text{S}} = 100\Omega$		
$R_{\text{Pot}} = 40\Omega / R_{\text{S}} = 100\Omega$		
$R_{\text{Pot}} = 20\Omega / R_{\text{S}} = 100\Omega$		

2.

---



---



---



---

3.

---



---



---



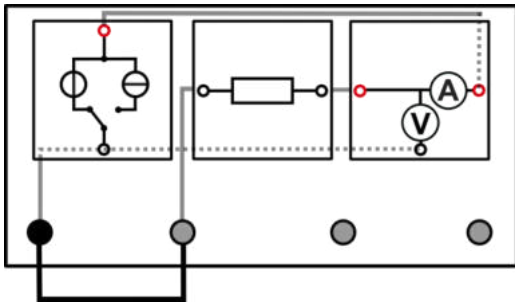
---

## 1.3 Parallelschaltung von ohmschen Widerständen

### Aufgabe

Untersuchen Sie die Parallelschaltung von ohmschen Widerständen

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 Grundeinheit
- 1 ChargerModul
- 1 Widerstandsmodul, 3-fach
- 3 Widerstandssteckelemente  
(2 x R=10Ω, 1 x R=100Ω)
- 1 AV-Modul
- 1 Laborkabel

### Durchführung

1. Bauen Sie den Versuch entsprechend dem Schaltplan auf. Das ChargerModul wird im Versuch um 90° gedreht aufgesteckt (siehe Skizze). Verwenden Sie das ChargerModul im Festspannungsmodus mit 3V. Hinweise zur Handhabung finden Sie auf Seite 5.
2. Beginnen Sie mit dem einzelnen Widerstandssteckelement R=10Ω. Verwenden Sie das AV-Modul im Strom-Spannungs-Modus und messen Sie die Spannung U und Stromstärke I.
3. Wiederholen Sie die Messung für die Parallelschaltung folgender Widerstände:
  - R<sub>1</sub>=10Ω / R<sub>2</sub>=10Ω
  - R<sub>1</sub>=10Ω / R<sub>2</sub>=100Ω
  - R<sub>1</sub>=10Ω / R<sub>2</sub>=10Ω / R<sub>3</sub>=100Ω
4. Notieren Sie ihre Messwerte in einer Tabelle.

### Messwerte

	R <sub>1</sub> =10Ω	R <sub>1</sub> =10Ω / R <sub>2</sub> =10Ω	R <sub>1</sub> =10Ω / R <sub>2</sub> =100Ω	R <sub>1</sub> =10Ω / R <sub>2</sub> =10Ω / R <sub>3</sub> =100 Ω
U (V)				
I (mA)				
R <sub>ges</sub> =U/I (Ω)				

### Auswertung

1. Berechnen Sie den Quotienten R<sub>ges</sub>=U/I (Ω) und tragen Sie Ihre Werte in die Tabelle ein.
2. Welchen Einfluss haben die Widerstände auf die Spannung U und die Stromstärke I?
3. Formulieren Sie, ausgehend von Ihren Messergebnissen eine Gesetzmäßigkeit für die Berechnung des Gesamtwiderstandes bei der Parallelschaltung von Widerständen.

---



---



---



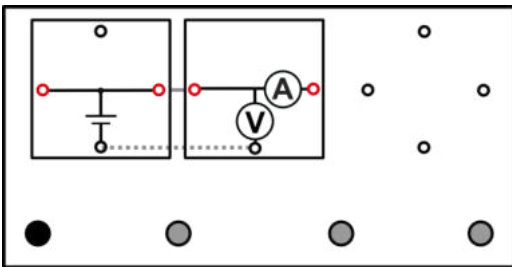
---

## 2.1 Die Nennspannung und Kapazität von Spannungsquellen

### Aufgabe

Bestimmen Sie die Leerlaufspannung von Einzelzellen.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 Grundeinheit
- 1 AV-Modul
- 1 Akkumodul NiMH, einfach
- 1 Akkumodul Pb
- 1 Akkumodul LiPo
- 1 Akkumodul NiZn
- 1 Akkumodul LiFePo

### Durchführung

1. Bauen Sie den Versuch entsprechend dem Schaltplan mit dem jeweiligen Akku-Modul auf.
2. Messen Sie die Leerlaufspannung der Spannungsquellen  $U_0$  und tragen Sie Ihre Messwerte in die Tabelle ein. Verwenden Sie das AV-Modul im Spannungsmodus.

### Auswertung

1. Nutzen Sie die untenstehende Abbildung (Diagramm 2.1), um den Ladezustand der Spannungsquellen zu bestimmen und tragen Sie in die Tabelle den prozentualen Wert ein.
2. Berechnen Sie die Restkapazität mit Hilfe der Ladezustandsbestimmung und der angegebenen maximalen Kapazität. Die Größen stehen dabei in folgendem Verhältnis:

$$\frac{\text{Restkapazität}}{\text{Maximalkapazität}} = \frac{\text{Ladezustand in \%}}{100}$$

3. Berechnen Sie die benötigte Batteriekapazität, um ein Radio mit einer Leistung von 20W für eine Dauer von 3h mit einer Batteriespannung von 12V zu betreiben.
4. Einer Starterbatterie wurde bei Entladung in 5h eine Kapazität von 40Ah entnommen. Berechnen Sie die Stromstärke unter der die Batterie entladen wurde.

### Messwerte

Akku-Modul	$U_0$ in V	Zustand in %
NiMH		
NiZn		
LiFePo		
Pb		
LiPo		



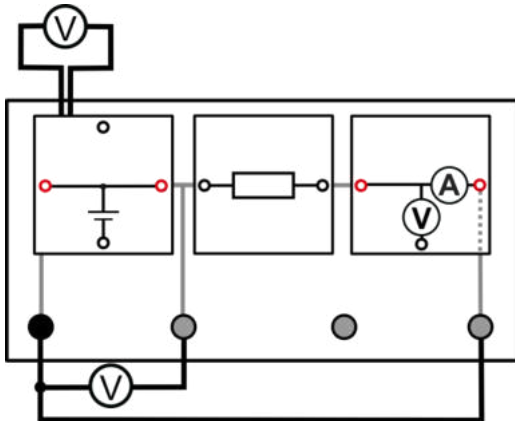


## 2.2 Die Vierpunkt-Messung

### Aufgabe

Ermitteln Sie den Widerstandswert der integrierten PTC-Sicherung der Spannungsquellen mit Hilfe der Vier-Punkt-Messung.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 Grundeinheit
- alle Akkumodule
- 1 AV-Modul
- 1 Widerstandsmodul 3-fach
- 1 Widerstands-Steckelement (10Ω)
- 3 Laborkabel

*Zusätzlich benötigt:*

- 1 Spannungsmessgerät
- 1 Akku-Adapterkabel

### Durchführung

1. Bauen Sie den Versuch entsprechend dem Schaltplan mit dem jeweiligen Akku-Modul auf. Fügen Sie das Widerstandssteckelement noch nicht in das Widerstandsmodul ein. Das AV-Modul auf der Grundeinheit wird im Strom-Modus betrieben. Die Spannung wird mit Hilfe des Digitalmultimeters gemessen.
2. Schließen Sie nun den Stromkreis, indem Sie den Widerstand von 10Ω aufstecken und messen Sie zuerst die Spannung  $U_1$  sowie den Strom  $I_{Last}$ . Entfernen Sie anschließend das Widerstandssteckelement, um eine Entladung des Akkumoduls zu vermeiden. Tragen Sie ihre Messwerte in die Tabelle ein.
3. Verbinden Sie das Akku-Adapterkabel mit dem Akkumodul und dem Spannungsmessgerät. Der schwarze Plug des Adapterkabels wird dazu in die kleine Buchse an der Seite (oben links) des Akku-Moduls eingesteckt.
4. Stecken Sie das Widerstandssteckelement wieder ein und messen Sie die Spannung  $U_2$  (über das Adapterkabel). Tragen Sie ihre Messwerte in die Tabelle ein.

### Messwerte

	$U_1$ in V	$U_2$ in V	$I_{Last}$ in mA	$R_{PTC}$ in mΩ
NiMH-Akkumodul, einfach				
NiZn-Akkumodul				
LiFePo-Akkumodul				
Blei-Akkumodul				
Lithium-Polymer-Akkumodul				
NiMH-Akkumodul, dreifach				



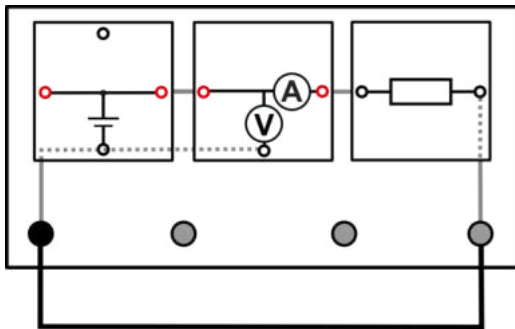


## 2.3 Der Innenwiderstand von Spannungsquellen

### Aufgabe

Ermitteln Sie den Innenwiderstand der Ihnen zur Verfügung stehenden Spannungsquellen.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 Grundeinheit
- alle Akku-Module
- 1 AV-Modul
- 1 Widerstandsmodul, 3-fach
- 1 Widerstands-Steckelement (10Ω)
- 1 Laborkabel

### Durchführung

1. Bauen Sie den Versuch entsprechend dem Schaltplan mit dem jeweiligen Akku-Modul auf.
2. Messen Sie zunächst die Leerlaufspannung der Spannungsquellen  $U_0$  ohne den Widerstand und tragen Sie Ihre Messwerte in die Tabelle ein.
3. Stecken Sie anschließend den Widerstand auf und messen Sie die Spannung  $U_{\text{Last}}$  und den Strom  $I_{\text{Last}}$ . Das AV-Modul wird zum Messen dieser Werte im Strom-Spannungs-Modus betrieben.

**Hinweis:** Für die Innenwiderstandbestimmung müssen noch die Kontaktwiderstände  $R_{\text{ü}}$  von dem errechneten Wert abgezogen werden. Die Kontaktwiderstände sind in der Tabelle (siehe Messwerte) mit angegeben.

### Auswertung

1. Ermitteln Sie den Innenwiderstand  $R_i$  der Spannungsquellen und tragen Sie diesen ebenfalls in die Tabelle ein.

**Hinweis:** Der Innenwiderstand der Zellen wird mithilfe folgender Formel berechnet:

$$R_i = \frac{U_0 - U_{\text{Last}}}{I_{\text{Last}}} - R_{\text{ü}}$$

2. Vergleichen Sie die Spannung der Spannungsquellen untereinander.
3. Berechnen Sie, wieviel Prozent seiner Leistung das dreifache NiMH-Akkumodul für die eigene Erwärmung im vorliegenden Beispiel verbraucht.
4. Eine Starterbatterie hat eine Ruhespannung  $U_0 = 12\text{V}$  und einen Innenwiderstand  $R_i = 20\text{ m}\Omega$ . Es wird ein externer Starter mit  $60\text{ m}\Omega$  Widerstand angelassen.
  - a) Berechnen Sie die Stromstärke beim Startvorgang.
  - b) Berechnen Sie den Spannungsfall an den Klemmen beim Starten.



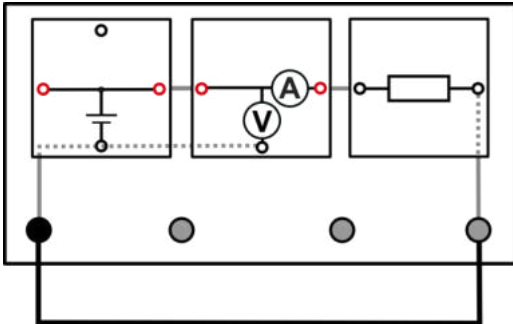


## 2.4 Reihenschaltung von Spannungsquellen

### Aufgabe

Untersuchen Sie das Verhalten von Spannungsquellen, wenn Sie diese einzeln bzw. in Reihe betrachten!

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 Grundeinheit
- 1 Akkumodul NiMH, einfach
- 1 Akkumodul NiMH, dreifach
- 1 AV-Modul
- 1 Widerstandsmodul, 3-fach
- 2 Widerstands-Steckelemente (2 x 10Ω)
- 1 Laborkabel

### Durchführung

1. Bauen Sie den Versuch entsprechend dem Schaltplan zunächst mit dem einfachen NiMH-Modul auf. Schalten Sie beide Widerstandssteckelemente parallel, um einen Lastwiderstand von 5Ω zu erreichen. Stecken Sie das Widerstandsmodul noch nicht auf, um eine Entladung des Akku-Moduls zu vermeiden.
2. Messen Sie zunächst die Leerlaufspannung der Spannungsquelle  $U_0$  ohne den Widerstand und tragen Sie Ihre Messwerte in die Tabelle ein.
3. Stecken Sie nun das Widerstandsmodul auf und messen Sie anschließend die Spannung  $U_{\text{Last}}$  und den Strom  $I_{\text{Last}}$ . Das AV-Modul wird im Stromstärke-Spannungs-Modus betrieben.
4. Wiederholen Sie den Versuch mit zwei weiteren einzelnen NiMH-Akkus. Verwenden Sie anschließend die untersuchten Einzelzellen im dreifachen NiMH-Modul und messen Sie erneut die oben genannten Größen.

### Messwerte

#### Einzelzelle:

		$U_0$ in V	$U_{\text{Last}}$ in V	$I_{\text{Last}}$ in mA
1. Zelle	( $R_{\text{ü}} = 50 \text{ m}\Omega$ )			
2. Zelle	( $R_{\text{ü}} = 50 \text{ m}\Omega$ )			
3. Zelle	( $R_{\text{ü}} = 50 \text{ m}\Omega$ )			

#### Mehrfachzelle:

		$U_0$ in V	$U_{\text{Last}}$ in V	$I_{\text{Last}}$ in mA
Mehrfachzelle	( $R_{\text{ü}} = 220 \text{ m}\Omega$ )			



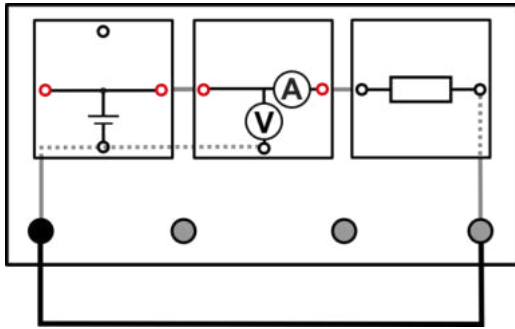


## 2.5 Die Speicherkapazität eines Akku-Moduls

### Aufgabe

Ermitteln Sie die Speicherkapazität einer Akkuzelle.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- 1 LiFePo-Modul
- 1 Widerstandsmodul, dreifach
- 2 Widerstandssteckelemente (2x10Ω)
- 1 AV-Modul
- 1 Laborkabel

*Zusätzlich benötigt (optional):*  
- PC mit Datenauswerte-Software

### Durchführung

1. Bauen Sie den Versuch entsprechend dem Schaltplan auf. Schalten Sie die Widerstandssteckelemente parallel, um einen Lastwiderstand von 5Ω zu erreichen. Stecken Sie das Widerstandsmodul noch nicht auf.
2. Messen Sie zunächst die Leerlaufspannung der Spannungsquelle  $U_0(1)$  ohne den Widerstand und tragen Sie Ihre Messwerte in die Tabelle ein.
3. Stecken Sie das Widerstandsmodul auf und messen Sie anschließend 15min lang die Spannung  $U_{Last}$  und den Strom  $I_{Last}$  im Abstand von 1min. Das AV-Modul wird Strom-Spannungs-Modus betrieben.
4. Messen Sie fünf Minuten nach Beendigung des Versuchs die Leerlaufspannung  $U_0(2)$  des Akku-Moduls.

**Hinweis:** Das Akkumodul sollte vor dem Versuch eine Restkapazität von mindestens 50% aufweisen (entspricht  $U_0=3,3V$ ). Der Versuch muss abgebrochen werden sobald der Entladestrom deutlich stark abnimmt!

### Messwerte

$U_0(1) =$  \_\_\_\_\_

t in min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$U_{Last}$ in V																
$I_{Last}$ in mA																

$U_0(2) =$  \_\_\_\_\_



## 2.5 Die Speicherkapazität eines Akku-Moduls

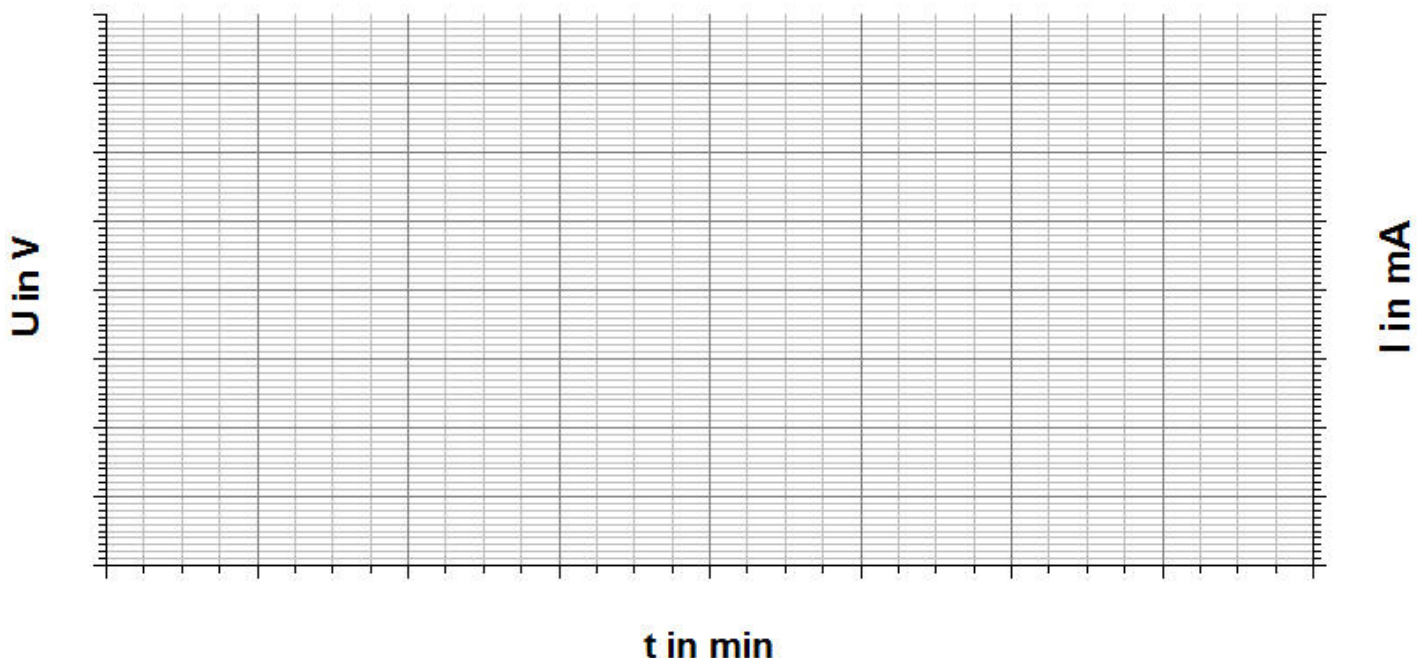
## Auswertung

1. Tragen Sie ihre Messwerte in das vorgegebene Diagramm ein.
2. Bestimmen Sie den Ladezustand und die Kapazität des Akku-Moduls am Anfang und am Ende des Experiments. Nutzen Sie dazu das Diagramm und die Tabelle aus dem Versuch „Die Nennspannung und Kapazität von Spannungsquellen“. Ermitteln Sie daraus den Kapazitätsverlust des Akku-Moduls während des Experiments.
3. Erläutern Sie, weshalb es in bestimmten Bereichen der Entladekurve zu Problemen bei der Ladestandsanzeige in LiFePo-Batteriesystemen kommen kann.
4. Übertragen Sie die experimentell ermittelten Werte in eine Datenauswerte-Software (z.Bsp Excel, Origin, QTI-Plot). Ermitteln Sie mithilfe der Software eine Polynomkurve, die den Verlauf der I-t-Kurve annähernd beschreibt. Bestimmen Sie anschließend die während des Versuchs abgegebene Ladung aus dem Integral über die I-t-Kurve:

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} I dt$$

5. Vergleichen Sie die ermittelte Ladung Q mit dem in 1. ermittelten Kapazitätsverlust.

## Diagramm



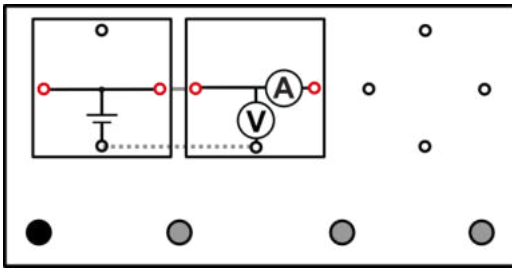


## 2.6 Der Energiegehalt verschiedener Akkumodule

### Aufgabe

Bestimmen Sie den Energiegehalt verschiedener Akkumodule.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 Grundeinheit
- 1 AV-Modul
- Alle Akkumodule

### Durchführung

1. Bauen Sie den Versuch entsprechend dem Schaltplan auf.
2. Messen Sie jeweils die Leerlaufspannung der Spannungsquellen  $U_0$  und tragen Sie Ihre Messwerte in die Tabelle ein. Verwenden Sie das AV-Modul im Spannungsmodus.

### Auswertung

1. Nutzen Sie die untenstehende Abbildung (Diagramm 2.6), um den Ladezustand der Spannungsquellen zu bestimmen und tragen Sie in die Tabelle den prozentualen Wert ein.
2. Berechnen Sie die Restkapazität  $Q_R$  mit Hilfe der Ladezustandsbestimmung und der angegebenen maximalen Kapazität  $Q_{\max}$ . Tragen Sie diesen Wert ebenfalls in die Tabelle ein. Die Größen stehen dabei in folgendem Verhältnis:

$$\frac{\text{Restkapazität } Q_R}{\text{Maximalkapazität } Q_{\max}} = \frac{\text{Ladezustand in \%}}{100}$$

3. Berechnen Sie den Energieinhalt der verschiedenen Akkumodule und tragen Sie diesen in die Tabelle ein. Der Energiegehalt kann über folgende Formel berechnet werden (Einheiten beachten!):

$$E = U \cdot I \cdot t = U_0 \cdot Q_R$$

4. Berechnen Sie mithilfe des in Tabelle 2.6 angegebenen Gewichts der Akkus die massenbezogene Energiedichte  $\omega$  in kJ/kg.
5. Erklären Sie, weshalb in verschiedenen Anwendungen häufig Akkus mit relativ geringer (massenbezogener) Energiedichte wie der Blei-Akku trotz ihres hohen Gewichts bevorzugt werden.

## 2.6 Der Energiegehalt verschiedener Akkumodule

### Messwerte

Akku-Modul	$U_0$ in V	Zustand in %	$Q_R$ in mAh	E in kJ
NiMH				
NiZn				
LiFePo				
Pb				
LiPo				

### Auswertung

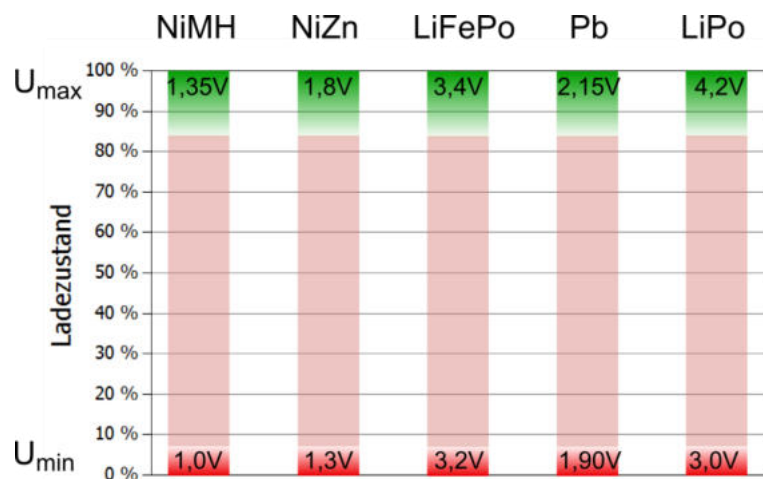


Diagramm 2.6: Ladezustandsbestimmung von Akkumodulen

Zellentyp	Kapazität $Q_{\max}$	Masse $m$ in g
NiMH-Akku	600mAh	11,3
NiZn-Akku	550mAh	11,2
LiFePo-Akku	200mAh	7,8
Blei-Akku	2500mAh	177,4
LiPo-Akkumodul	980mAh	20,0

Tabelle 2.6: Maximale Kapazität und Gewicht der Akku-Module



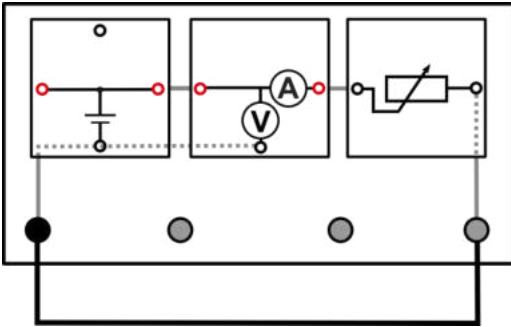


2.7 Der  $R_i$ -Wirkungsgrad eines Akkumoduls

## Aufgabe

Ermitteln Sie den  $R_i$ -Wirkungsgrad eines Akkumoduls.

## Aufbau



## Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- 1 beliebiges Akkumodul
- 1 Potentiometer
- 1 AV-Modul
- 1 Laborkabel

## Durchführung

1. Bauen Sie den Versuch entsprechend dem Schaltplan auf.
2. Stecken Sie das Kabel noch nicht ein und messen Sie zunächst die Leerlaufspannung des Akku-Moduls  $U_0$  und tragen Sie Ihren Messwert in die Tabelle ein.
3. Stecken Sie anschließend das Kabel ein und messen Sie die Spannung  $U_{\text{Last}}$  und den Strom  $I_{\text{Last}}$  bei verschiedenen Widerständen am Potentiometer. Das AV-Modul wird im Strom-Spannungs-Modus betrieben. Tragen Sie ihre Messwerte in die Tabelle ein.

**Hinweis:** Unterbrechen Sie den Stromfluss (zum Beispiel durch Entfernen des Kabels) nach jeder Einzelmessung, um eine zu starke Entladung des Moduls während des Experiments zu vermeiden

## Auswertung

1. Ermitteln Sie für jeden Messpunkt den  $R_i$ -Wirkungsgrad  $\eta$  des Akkumoduls und tragen Sie den Wert in die Tabelle ein. Der  $R_i$ -Wirkungsgrad  $\eta$  wird mithilfe folgender Formel berechnet:

$$\eta = \frac{P_{\text{Last}}}{P_0} = \frac{U_{\text{Last}} \cdot I_{\text{Last}}}{U_0 \cdot I_{\text{Last}}}$$

2. Tragen Sie Ihre Messwerte in das Diagramm ein.
3. Beschreiben und erklären Sie das Verhalten des  $R_i$ -Wirkungsgrads in Abhängigkeit vom Laststrom.







## 2.7 Der $R_i$ -Wirkungsgrad eines Akkumoduls

### Auswertung

3.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

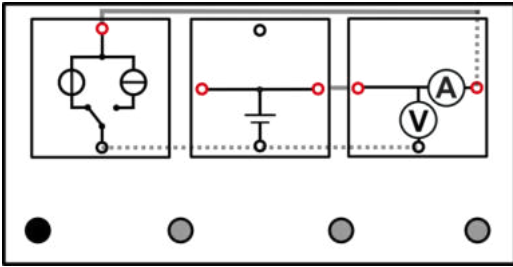
## 2.8 Der Gesamtwirkungsgrad einer Batterie

### Aufgabe

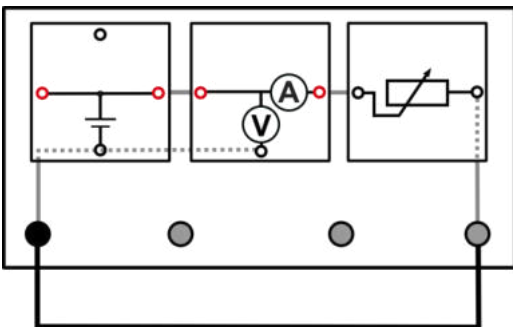
Ermitteln Sie den Gesamtwirkungsgrad einer Batterie.

### Aufbau

#### Teilversuch 1: Laden des Akkumoduls



#### Teilversuch 2: Entladen des Akkumoduls



### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- 1 Akkumodul NiMH, einfach
- 1 ChargerModul
- 1 Potentiometer
- 1 AV-Modul
- 1 Laborkabel

### Durchführung

#### Teilexperiment 1: Laden des Akkumoduls

1. Bauen Sie den Versuch entsprechend dem Schaltplan (Teilversuch 1) auf. Verwenden Sie das ChargerModul im NiMH-Modus (einfach). Hinweise zur Handhabung des ChargerModuls finden Sie auf Seite 5. Schalten Sie den Charger noch nicht ein.
2. Messen Sie zunächst die Leerlaufspannung des Akku-Moduls  $U_0(1)$  und notieren Sie den Wert.
3. Schalten Sie den Charger ein und messen Sie zehn Minuten lang in Abständen von einer Minute die Spannung  $U$  und den Strom  $I$ . Das AV-Modul wird im Strom-Spannungs-Modus betrieben. Tragen Sie ihre Messwerte in die Tabelle ein.
4. Messen Sie 5 Minuten nach Beendigung des ersten Teilexperiments erneut die Leerlaufspannung  $U_0(2)$ .

**Hinweis:** Das Akkumodul sollte zu Beginn des Experiments zu maximal 50% geladen sein (entspricht einer Leerlaufspannung von 1,18V). Gegebenenfalls muss das Akkumodul vor Beginn des Versuchs mithilfe der Widerstandsmodule entladen werden.



## 2.8 Der Gesamtwirkungsgrad einer Batterie

## Durchführung

**Teilexperiment 2:** Entladen des Akkumoduls

1. Bauen Sie den Versuch entsprechend dem Schaltplan (Teilversuch 2) auf. Stecken Sie das Potentiometer noch nicht ein, damit das Experiment nicht ohne Aufnahme der Messwerte startet.
2. Messen Sie zunächst die Leerlaufspannung des Akku-Moduls  $U_0(1)$  und notieren Sie den Wert.
3. Stecken Sie das Potentiometer ein und regeln den Entladestrom  $I$  auf den Wert des Ladestroms aus dem Teilversuch 1.
4. Messen Sie anschließend zehn Minuten lang in Abständen von einer Minute die Spannung  $U$  und den Strom  $I$ . Das AV-Modul wird im Strom-Spannungs-Modus betrieben. Regeln Sie gegebenenfalls den Widerstand am Potentiometer nach, um den Entladestrom konstant zu halten. Tragen Sie ihre Messwerte in die Tabelle ein.
5. Unterbrechen Sie nach zehn Minuten den Stromfluss durch Entfernen des Kabels. Messen Sie die Leerlaufspannung  $U_0(2)$  direkt nach Beendigung des Versuchs fünf Minuten lang in Abständen von einer Minute und tragen Sie Ihre Werte in die Tabelle ein.

## Messwerte

**Teilexperiment 1:** Laden des Akkumoduls $U_0(1) = \underline{\hspace{2cm}}$ 

t in min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U in V											
I in mA											
W in J											

 $U_0(2) = \underline{\hspace{2cm}}$ **Teilexperiment 2:** Entladen des Akkumoduls $U_0(1) = \underline{\hspace{2cm}}$ 

t in min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U in V											
I in mA											
W in J											

Leerlaufspannung nach dem Experiment:

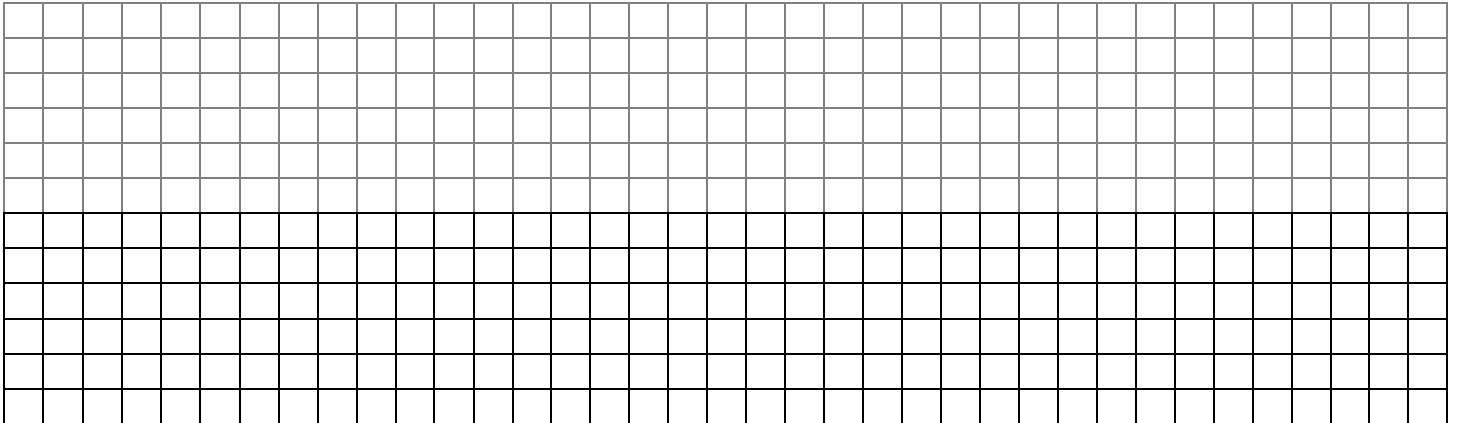
t in min	0	1	2	3	4	5
$U_0(2)$ in V						



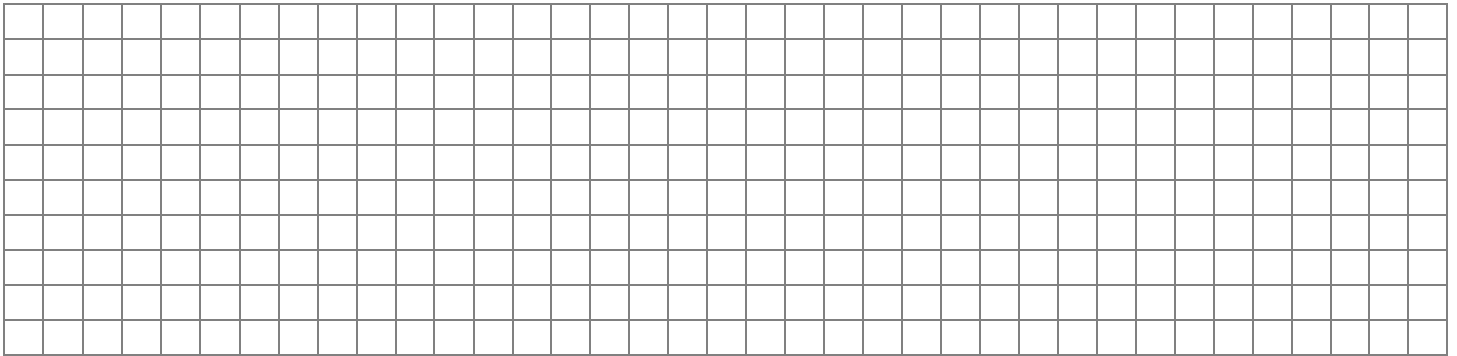


## 2.8 Der Gesamtwirkungsgrad einer Batterie

### Auswertung



3.



4.

---

---

---

---

---

---

---

5.

---

---

---

---

---

---

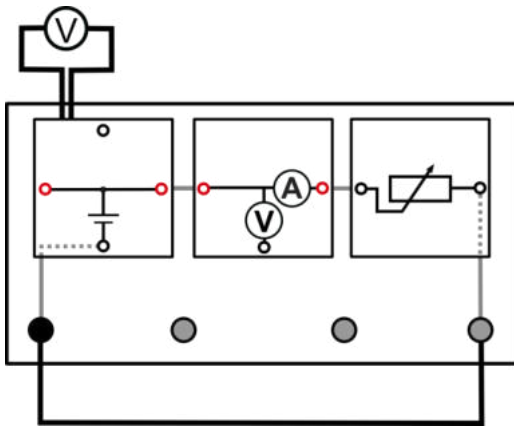
---

## 2.9 Temperaturverhalten der Lithium-Polymerzelle

### Aufgabe

Ermitteln Sie das Temperaturverhalten der Lithium-Polymerzelle

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 Grundeinheit
- 1 LiPo-Akkumodul
- 1 Potentiometermodul
- 1 AV-Modul
- 1 Laborkabel

*Zusätzlich benötigt:*

- 1 Akku-Adapterkabel
- 1 Spannungsmessgerät

### Durchführung

1. Bauen Sie den Versuch entsprechend dem Schaltplan auf. Das AV-Modul auf der Grundeinheit wird im Stromstärke-Modus betrieben.

**Hinweis:** Zur Bestimmung des NTC-Widerstandwertes  $R_{NTC}$  werden das schwarze und das weiße Kabel des Akku-Adapterkabels und ein Spannungsmessgerät verwendet. Der schwarze Plug des Adapterkabels wird in die kleine Buchse an der Seite (oben links) des LiPo-Akkus eingesteckt.

2. Stellen Sie am Potentiometer zunächst einen Widerstand  $R_{Last}$  von  $5\Omega$  ein. Messen Sie zehn Minuten lang in Abständen von einer Minute die Stromstärke und den NTC-Widerstandswert  $R_{NTC}$  und tragen Sie Ihre Messwerte in die Tabelle ein.
3. Wiederholen Sie den Versuch für einen Widerstand am Potentiometer  $R_{Last}$  von  $3\Omega$ . Das LiPo-Modul sollte vor dem zweiten Telexperiment wieder auf den ursprünglichen Wert abkühlen.

**Hinweis:** Das LiPo-Akkumodul sollte vor dem Versuch eine Restspannung von mind. 3,5V aufweisen.

### Messwerte

1. Messreihe:  $R_{Last} = 5\Omega$

t in min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I in mA											
$R_{NTC}$ in $k\Omega$											
T in $^{\circ}C$											
W in kJ											



## 2.9 Temperaturverhalten der Lithium-Polymerzelle

## Messwerte

2. Messreihe:  $R_{\text{Last}} = 3\Omega$ 

t in min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I in mA											
$R_{\text{NTC}}$ in $k\Omega$											
T in $^{\circ}\text{C}$											
W in kJ											

## Auswertung

1. Ermitteln Sie die Temperatur für jeden Messpunkt anhand der abgebildeten Graphik (Abb.2.9) und tragen Sie diese in die Messwerttabelle ein.
2. Berechnen Sie jeweils die Energie, welche von den Lastwiderständen aufgenommen wird und tragen Sie Ihre Werte in die Tabelle ein. Die Energie berechnet sich folgendermaßen:

$$W = R_{\text{Last}} \cdot I^2 \cdot t$$

3. Tragen Sie ihre Werte in das Diagramm ein.
4. Beschreiben und erläutern Sie das Verhalten des W-t-Diagramms.

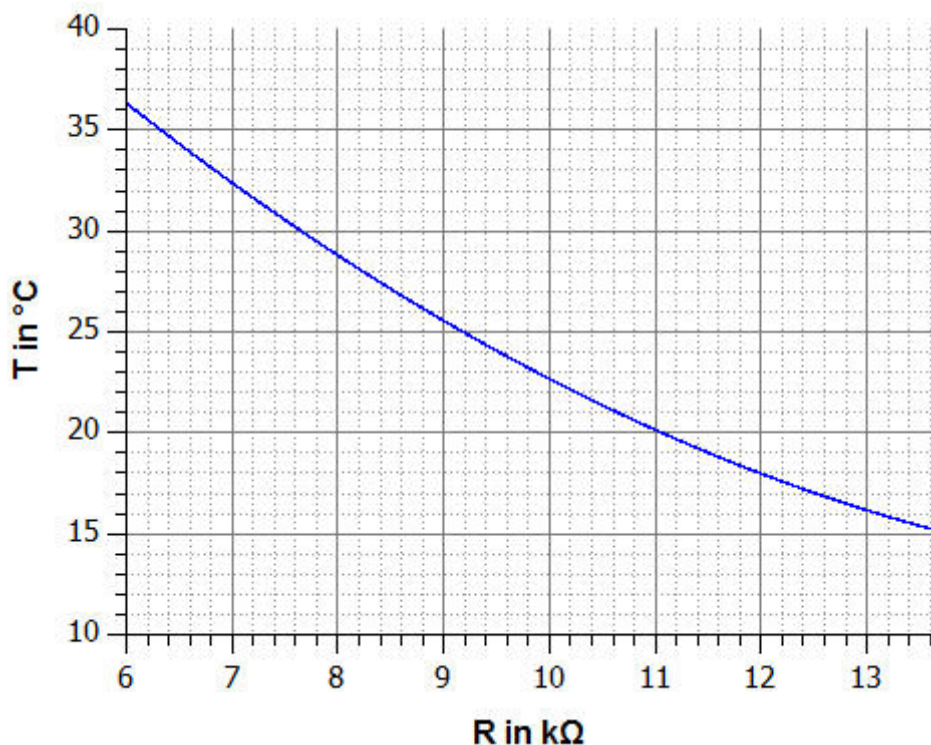


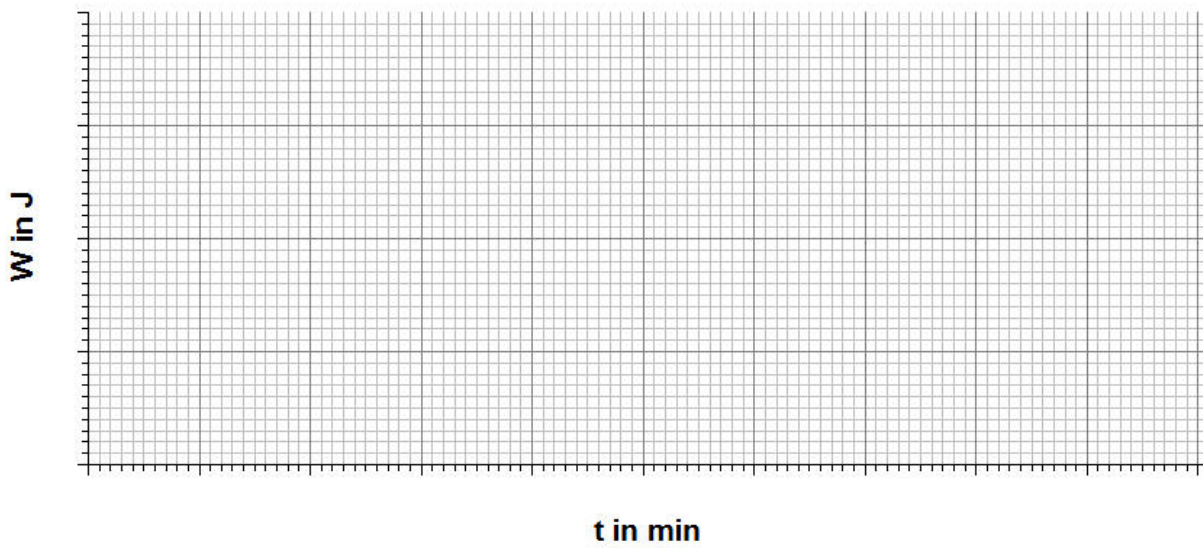
Abb.2.9: Temperatur in Abhängigkeit von NTC-Widerstandswert





## 2.9 Temperaturverhalten der Lithium-Polymerzelle

### Diagramme



### Auswertung

2.



4.

---

---

---

---

---

---

---

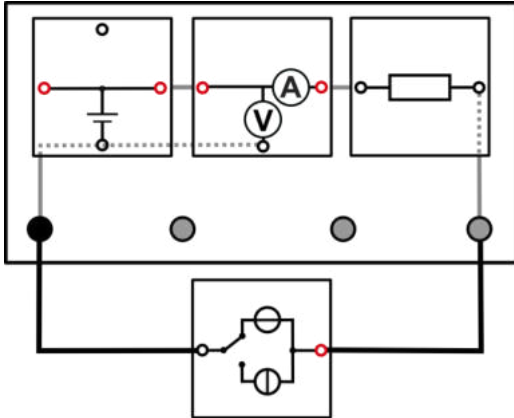
---

## 3.1 Das Ladeverhalten des Kondensators

### Aufgabe

Nehmen Sie die Ladekurve eines Kondensators auf.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 Grundeinheit
- 1 ChargerModul
- 1 Kondensatormodul
- 1 AV-Modul
- 1 Widerstandsmodul, 3-fach
- 2 Widerstands-Steckelemente  
(2 x  $R=10\ \Omega$ )
- 2 Laborkabel

### Durchführung

#### Variante 1: Laden im Supercap-Modus

1. Bauen Sie den Versuch entsprechend dem Schaltplan auf. Verwenden Sie das ChargerModul im Kondensator-Modus („4,0V Supercap“).
2. Stecken Sie das Widerstandsmodul von  $R=10\ \Omega$  ein und messen Sie anschließend 90s lang (beziehungsweise bis zum Erreichen des Abbruchstroms) die Spannung  $U_{\text{Last}}$  und den Strom  $I_{\text{Last}}$  im Abstand von 10s. Das AV-Modul wird im Strom-Spannungs-Modus betrieben.
3. Tragen Sie alle Messwerte in die Tabelle ein.
4. Entladen Sie den Kondensator und wiederholen Sie den Versuch für den Widerstand von  $R=5\ \Omega$  (realisiert durch Parallelschaltung von  $2 \times 10\ \Omega$ ).

#### Variante 2: Laden im Festspannungs-Modus

1. Bauen Sie den Versuch entsprechend dem Schaltplan auf. Verwenden Sie das ChargerModul im Festspannungsmodus von 3V.
2. Nehmen Sie analog zur Variante 1 die Ladekurven des Kondensators für verschiedene Widerstände auf. Messen Sie in diesem Fall 120s lang im Abstand von 10s die Stromstärke und Spannung und tragen Sie Ihre Werte in die Tabelle ein.

**Hinweis:** Achten Sie beim Aufbau darauf, dass sich vor Beginn der Messung kein Widerstand im Widerstandsteckmodul befindet, damit der Ladevorgang nicht ohne die Aufnahme der Messwerte beginnt.

### Auswertung

1. Tragen Sie Ihre Messwerte in die Diagramme ein.
2. Interpretieren Sie die Diagramme über das Ladeverhalten des Kondensators.
3. Ermitteln Sie die Zeit in der der Kondensator zu 60% aufgeladen ist (bezogen auf 3V Vollladung beim Festspannungsmodus).
4. Benennen Sie Anwendungsbereiche von sogenannten Supercaps.



## 3.1 Das Ladeverhalten des Kondensators

## Messwerte: Variante 1

 **$R_1 = 10\Omega$ :**

t in s	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$U_{\text{Last}}$ in V										
$I_{\text{Last}}$ in mA										

 **$R_1 = 5\Omega$ :**

t in s	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$U_{\text{Last}}$ in V										
$I_{\text{Last}}$ in mA										

## Messwerte: Variante 2

 **$R_1 = 10\Omega$ :**

t in s	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$U_{\text{Last}}$ in V													
$I_{\text{Last}}$ in mA													

 **$R_1 = 5\Omega$ :**

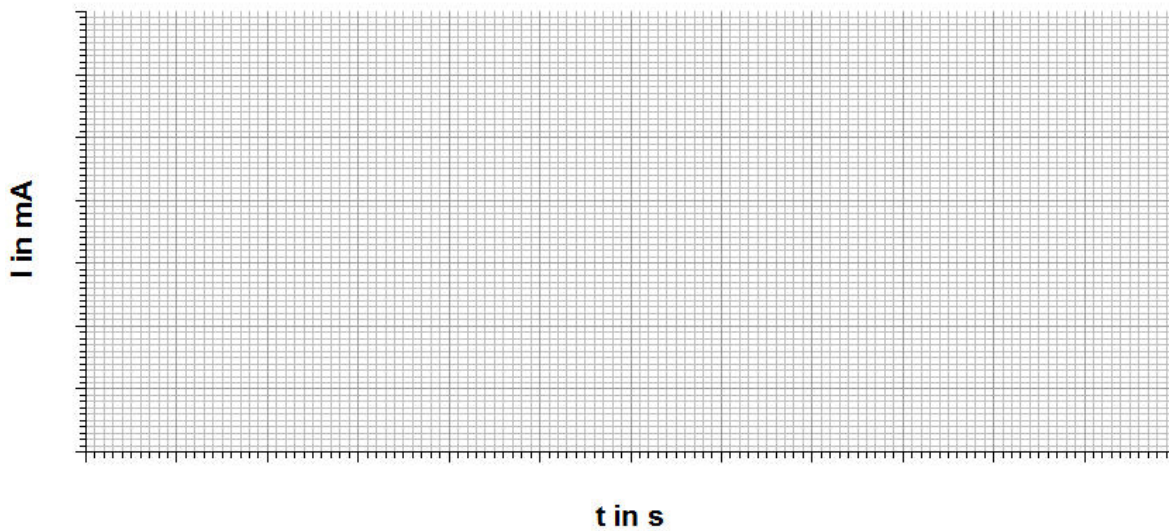
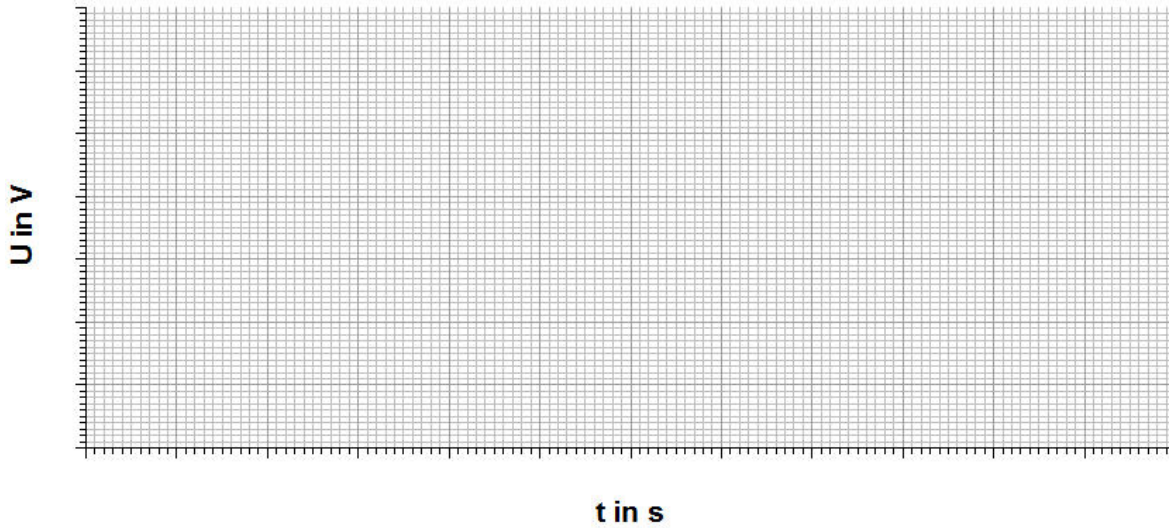
t in s	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$U_{\text{Last}}$ in V													
$I_{\text{Last}}$ in mA													



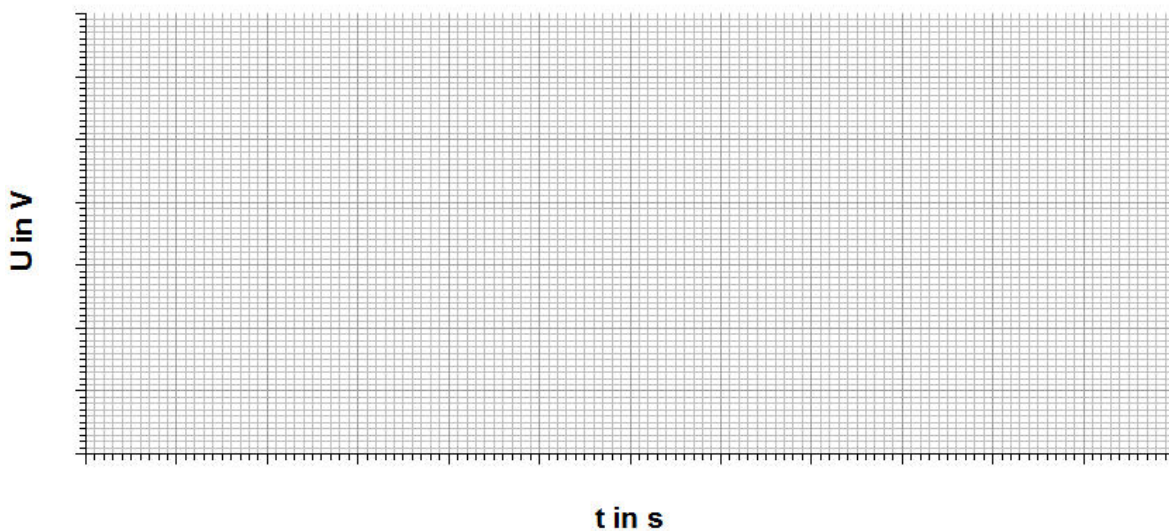
### 3.1 Das Ladeverhalten des Kondensators

#### Diagramme

##### Variante 1: Laden im Supercap-Modus



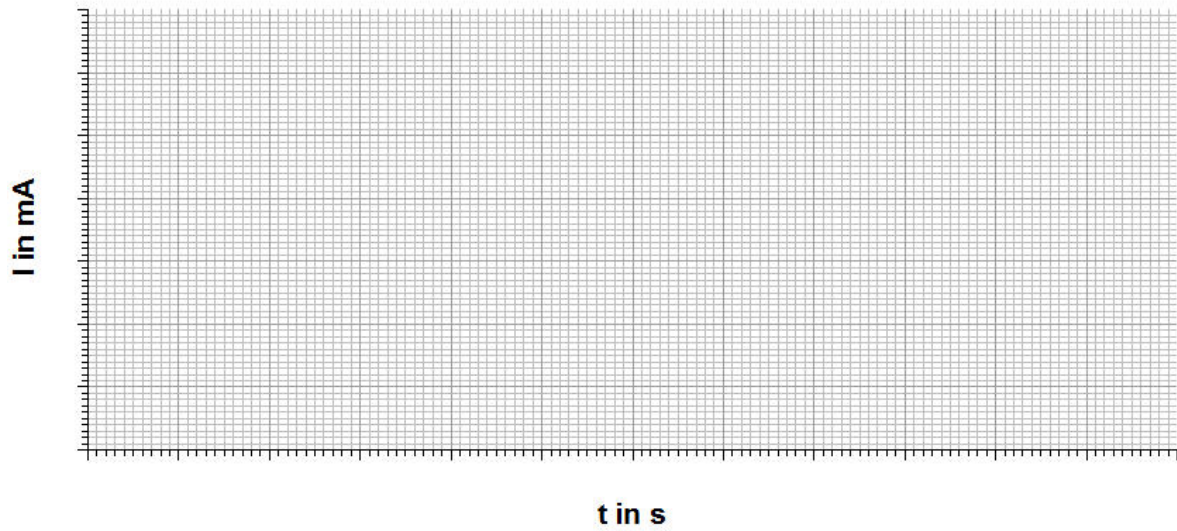
##### Variante 2: Laden im Festspannungs-Modus





### 3.1 Das Ladeverhalten des Kondensators

#### Diagramme



#### Auswertung

2.

---

---

---

---

3.

R=10  $\Omega$ : \_\_\_\_\_

R=5  $\Omega$ : \_\_\_\_\_

4.

---

---

---

---

---

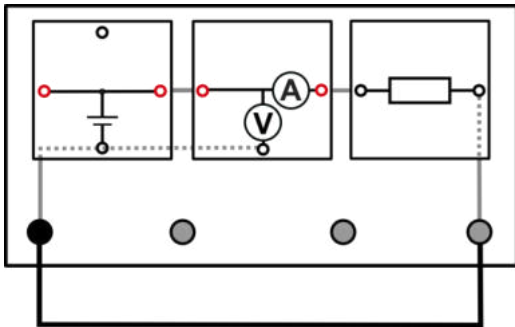
---

## 3.2 Das Entladeverhalten des Kondensators

### Aufgabe

Nehmen Sie die Entladekurve des Kondensators auf.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 Grundeinheit
- 1 AV-Modul
- 1 Widerstandsmodul 3-fach
- 2 Widerstands-Steckelemente  
(2 x  $R=10\Omega$ )
- 1 Kondensatormodul
- 1 Laborkabel

### Durchführung

1. Bauen Sie den Versuch entsprechend dem Schaltplan auf. Stecken Sie das Widerstandsmodul noch nicht ein.
2. Messen Sie die Leerlaufspannung  $U_0$  des Kondensators und notieren Sie den Wert.
3. Stecken Sie das Widerstandsmodul von  $R=10\Omega$  ein und messen Sie anschließend 90s lang die Spannung  $U_{\text{Last}}$  und den Strom  $I_{\text{Last}}$  im Abstand von 10s. Das AV-Modul wird im Strom-Spannungs-Modus betrieben.
4. Wiederholen Sie den Versuch für einen Widerstand von  $R=5\Omega$  (realisiert durch Parallelschaltung von  $2 \times 10\Omega$ ).

**Hinweis:** Der Kondensator sollte sich vor beiden Teilversuchen auf dem gleichen Ladezustand befinden. Laden Sie dazu den Kondensator nach dem ersten Teilversuch entsprechend wieder auf. Hinweise zum Ladeprozess finden Sie im Versuch „Das Ladeverhalten des Kondensators“.

### Auswertung

1. Tragen Sie Ihre Messwerte in die Diagramme ein.
2. Interpretieren Sie das Diagramm über das Entladeverhalten des Kondensators.
3. Ermitteln Sie die Zeit, in der der Kondensator auf 60% entladen ist (bezogen auf 3V Vollladung).
4. Berechnen Sie die Ladung des Kondensatormoduls zu Beginn und nach 90s Entladezeit für den Widerstand von  $R=10\Omega$  (Kapazität  $C=5,0F$ ).
5. Die Kapazität eines Kondensators ist mit “n47” angegeben. Benennen Sie die Bedeutung dieser Angabe.





### 3.2 Das Entladeverhalten des Kondensators

#### Messwerte

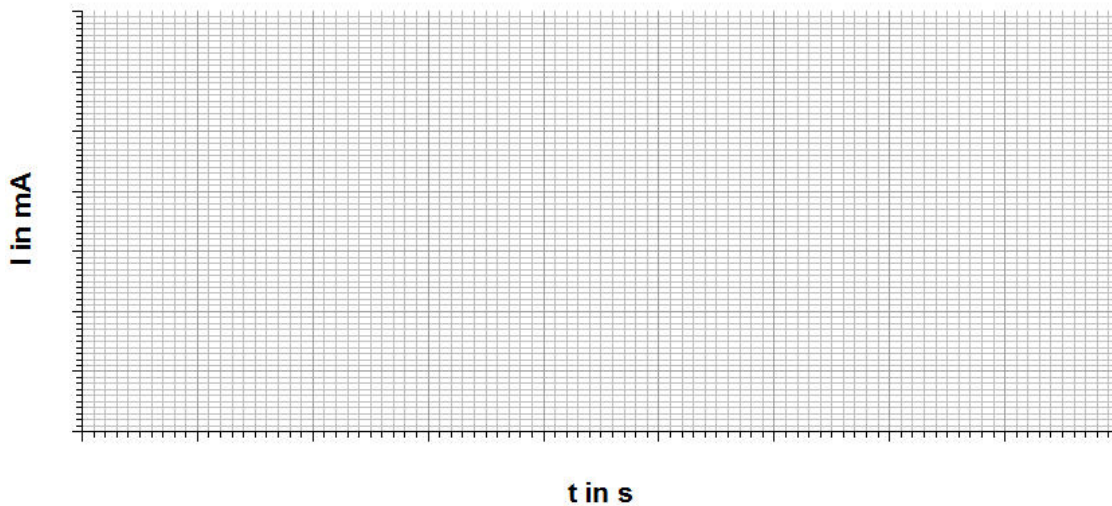
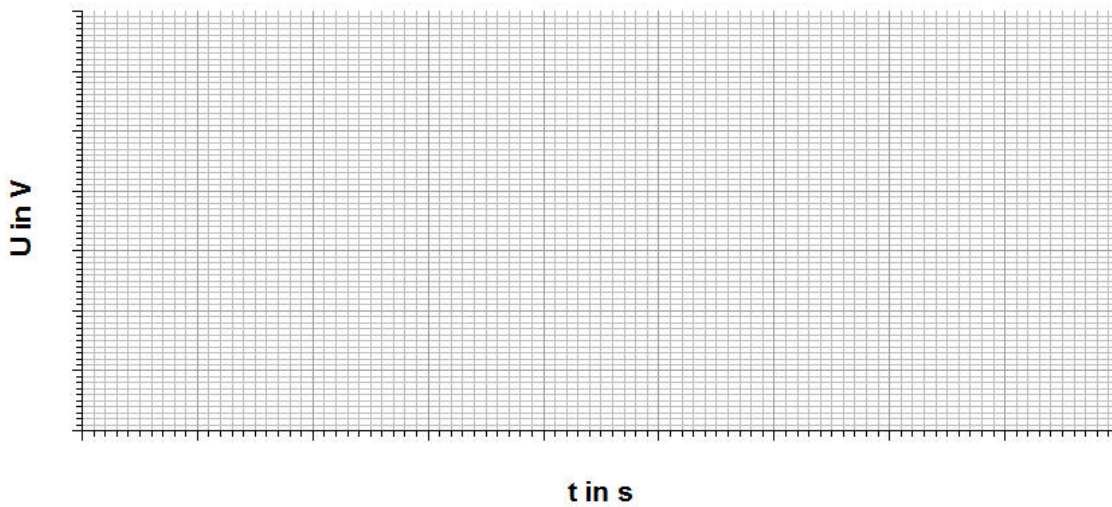
$R_1 = 10\Omega$ :

t in s	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
U in V										
I in mA										

$R_2 = 5\Omega$ :

t in s	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
U in V										
I in mA										

#### Diagramme





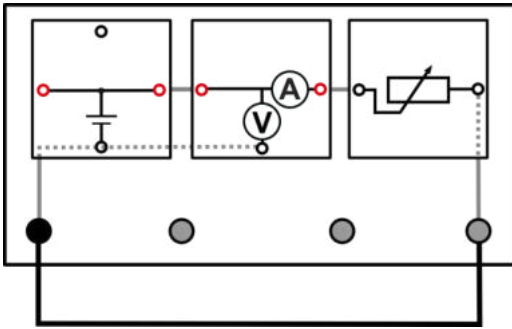


## 4.1 U-I-Kennlinie des einfachen NiMH-Akkumoduls

### Aufgabe

Ermitteln Sie die U-I-Kennlinie des einfachen NiMH-Akkumoduls.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 Grundeinheit
- 1 Akkumodul NiMH, einfach
- 1 Potentiometermodul
- 1 AV-Modul
- 1 Laborkabel

### Durchführung

1. Bauen Sie den Versuch entsprechend dem Schaltplan auf. Stecken Sie das Potentiometermodul noch nicht auf.
2. Messen Sie zunächst die Leerlaufspannung des Akku-Moduls  $U_0$  und tragen Sie Ihren Messwert in die Tabelle ein.
3. Stellen Sie am Potentiometer einen Widerstand  $R_{Pot}$  von  $50\Omega$  ein und stecken Sie das Modul auf die Grundeinheit. Messen Sie die Spannung  $U_{Last}$  und den Strom  $I_{Last}$  bei geschlossenem Stromkreis. Das AV-Modul wird im Strom-Spannungs-Modus betrieben. Tragen Sie ihre Messwerte in die Tabelle ein.
4. Verringern Sie in mehreren Schritten den Widerstand  $R_{Pot}$  am Potentiometer und bestimmen Sie für verschiedene Widerstände jeweils die Spannung  $U_{Last}$  und den Strom  $I_{Last}$ .

**Hinweis:** Unterbrechen Sie den Stromfluss (zum Beispiel durch Entfernen des Kabels) nach jeder Einzelmessung, um eine zu starke Entladung des Moduls während des Experiments zu vermeiden.

### Auswertung

1. Stellen Sie Ihre Messwerte in dem Diagramm dar.
2. Vergleichen Sie ihre gemessene Kennlinie mit den beigegefügt Kennlinien und treffen Sie eine Aussage zum Zustand der Zelle. Berechnen Sie die Restkapazität des Akku-Moduls. Hinweise zur Berechnung finden Sie im Versuch „Die Nennspannung und Kapazität von Spannungsquellen“.
3. Benennen Sie Anwendungen für NiMH-Akkus. Begründen Sie die Anwendung anhand ihrer Eigenschaften.
4. Erläutern Sie, weshalb NiMH-Akkus nicht in sicherheitsrelevanten Geräten wie Feuermeldern oder Notfall-taschenlampen verwendet werden sollten.
5. Benennen Sie Vorteile von NiMH-Akkus gegenüber NiCd-Akkus.





## 4.1 U-I-Kennlinie des einfachen NiMH-Akkumoduls

### Auswertung

3.

---

---

---

---

---

---

---

---

4.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

5.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

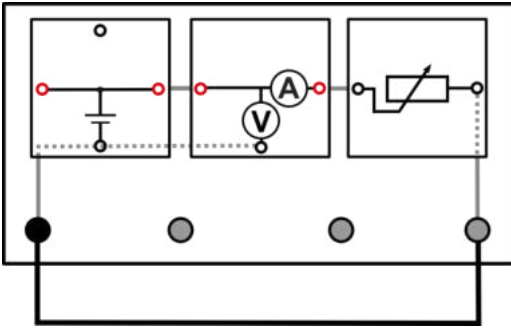
---

## 4.2 U-I-Kennlinie des NiZn-Akkumoduls

### Aufgabe

Ermitteln Sie die U-I-Kennlinie des NiZn-Akkumoduls.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 Grundeinheit
- 1 Akkumodul NiZn
- 1 Potentiometermodul
- 1 AV-Modul
- 1 Laborkabel

### Durchführung

1. Bauen Sie den Versuch entsprechend dem Schaltplan auf. Stecken Sie das Potentiometermodul noch nicht auf.
2. Messen Sie zunächst die Leerlaufspannung des Akku-Moduls  $U_0$  und tragen Sie Ihren Messwert in die Tabelle ein.
3. Stellen Sie am Potentiometer einen Widerstand  $R_{Pot}$  von  $60\Omega$  ein und stecken Sie das Modul auf die Grundeinheit. Messen Sie die Spannung  $U_{Last}$  und den Strom  $I_{Last}$  bei geschlossenem Stromkreis. Das AV-Modul wird im Strom-Spannungs-Modus betrieben. Tragen Sie ihre Messwerte in die Tabelle ein.
4. Verringern Sie in mehreren Schritten den Widerstand  $R_{Pot}$  am Potentiometer und bestimmen Sie für verschiedene Widerstände jeweils die Spannung  $U_{Last}$  und den Strom  $I_{Last}$ .

**Hinweis:** Unterbrechen Sie den Stromfluss (zum Beispiel durch Entfernen des Kabels) nach jeder Einzelmessung, um eine zu starke Entladung des Moduls während des Experiments zu vermeiden.

### Auswertung

1. Stellen Sie Ihre Messwerte in einem Diagramm dar.
2. Vergleichen Sie ihre gemessene Kennlinie mit den beigefügten Kennlinien und treffen Sie eine Aussage zum Zustand der Zelle. Berechnen Sie die Restkapazität des Akku-Moduls. Hinweise zur Berechnung finden Sie im Versuch „Die Nennspannung und Kapazität von Spannungsquellen“.
3. Erläutern Sie, weshalb der NiZn-Akku erst in der 2000er Jahren wirklich praktische Anwendung fand, obwohl Adison diesen Akku-Typen schon 1901 hat patentieren lassen?
4. Benennen Sie Vorteile von NiZn-Akkus gegenüber NiMH-Systemen, speziell in der Automobilbranche.



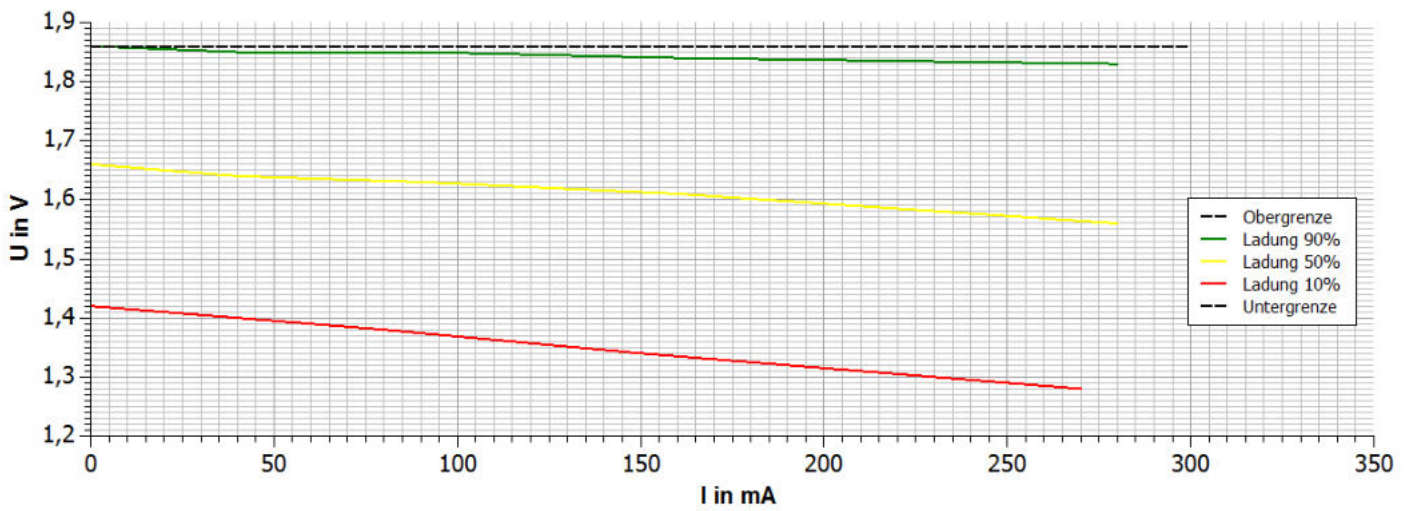
### 4.2 U-I-Kennlinie des NiZn-Akkumoduls

#### Messwerte

$U_0 =$  \_\_\_\_\_

$R_{Pot}$ in $\Omega$									
$U_{Last}$ in V									
$I_{Last}$ in mA									

#### Diagramme



#### Auswertung

2.

---



---



---



---



---



---



---

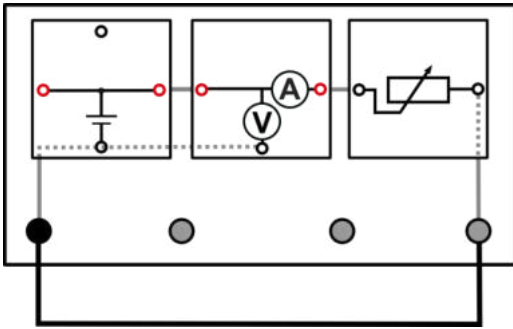


## 4.3 U-I-Kennlinie des LiFePo-Akkumoduls

### Aufgabe

Ermitteln Sie die U-I-Kennlinie des LiFePo-Akkumoduls.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 Grundeinheit
- 1 Akkumodul LiFePo
- 1 Potentiometermodul
- 1 AV-Modul
- 1 Laborkabel

### Durchführung

1. Bauen Sie den Versuch entsprechend dem Schaltplan auf. Stecken Sie das Potentiometermodul noch nicht auf.
2. Messen Sie zunächst die Leerlaufspannung des Akku-Moduls  $U_0$  und tragen Sie Ihren Messwert in die Tabelle ein.
3. Stellen Sie am Potentiometer einen Widerstand  $R_{Pot}$  von  $100\Omega$  ein und stecken Sie das Modul auf die Grundeinheit. Messen Sie die Spannung  $U_{Last}$  und den Strom  $I_{Last}$  bei geschlossenem Stromkreis. Das AV-Modul wird im Strom-Spannungs-Modus betrieben. Tragen Sie ihre Messwerte in die Tabelle ein.
4. Verringern Sie in mehreren Schritten den Widerstand  $R_{Pot}$  am Potentiometer und bestimmen Sie für verschiedene Widerstände jeweils die Spannung  $U_{Last}$  und den Strom  $I_{Last}$ .

**Hinweis:** Unterbrechen Sie den Stromfluss (zum Beispiel durch Entfernen des Kabels) nach jeder Einzelmessung, um eine zu starke Entladung des Moduls während des Experiments zu vermeiden.

### Auswertung

1. Stellen Sie Ihre Messwerte in einem Diagramm dar.
2. Vergleichen Sie ihre gemessene Kennlinie mit den beigefügten Kennlinien und treffen Sie eine Aussage zum Zustand der Zelle. Berechnen Sie die Restkapazität des Akku-Moduls. Hinweise zur Berechnung finden Sie im Versuch „Die Nennspannung und Kapazität von Spannungsquellen“.
3. Benennen Sie Vor- und Nachteile von Lithium-Eisenphosphat-Akkumulatoren gegenüber anderen Akku-Typen!
4. Benennen Sie die wichtigsten Anwendungsbereiche von LiFePo-Akkumulatoren.



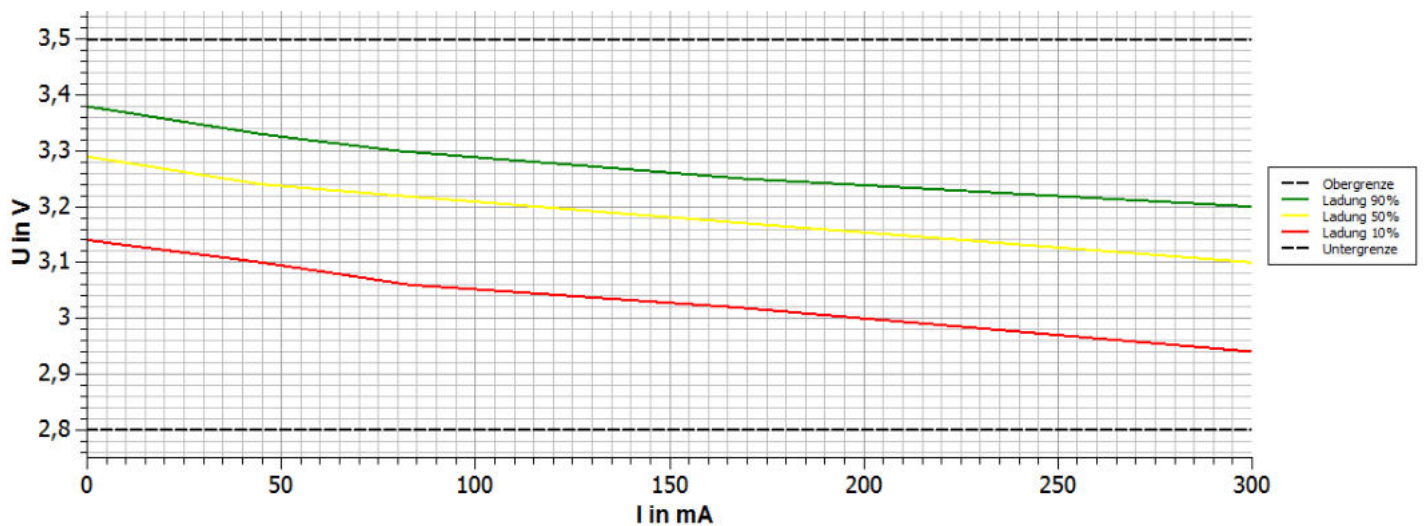
### 4.3 U-I-Kennlinie des LiFePo-Akkumoduls

#### Messwerte

$U_0 =$  \_\_\_\_\_

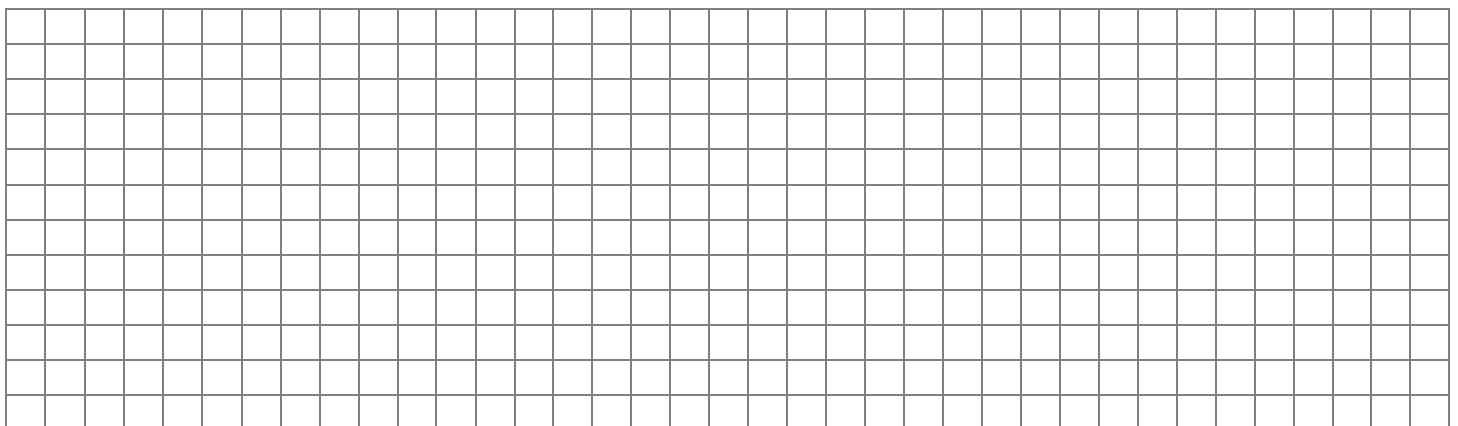
$R_{Pot}$ in $\Omega$									
$U_{Last}$ in V									
$I_{Last}$ in mA									

#### Diagramme



#### Auswertung

2.





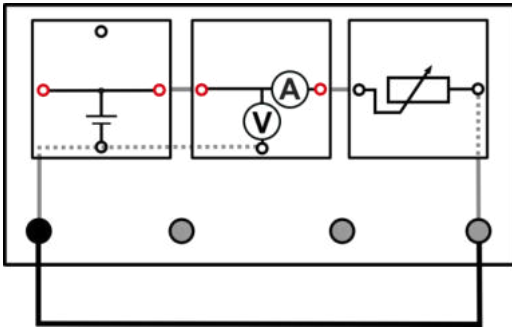


## 4.4 U-I-Kennlinie des Blei-Akkumoduls

### Aufgabe

Ermitteln Sie die U-I-Kennlinie des Blei-Akkumoduls.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 Grundeinheit
- 1 Akkumodul Pb
- 1 Potentiometermodul
- 1 AV-Modul
- 1 Laborkabel

### Durchführung

1. Bauen Sie den Versuch entsprechend dem Schaltplan auf. Stecken Sie das Potentiometermodul noch nicht auf.
2. Messen Sie zunächst die Leerlaufspannung des Akku-Moduls  $U_0$  und tragen Sie Ihren Messwert in die Tabelle ein.
3. Stellen Sie am Potentiometer einen Widerstand  $R_{Pot}$  von  $60\Omega$  ein und stecken Sie das Modul auf die Grundeinheit. Messen Sie die Spannung  $U_{Last}$  und den Strom  $I_{Last}$  bei geschlossenem Stromkreis. Das AV-Modul wird im Strom-Spannungs-Modus betrieben. Tragen Sie ihre Messwerte in die Tabelle ein.
4. Verringern Sie in mehreren Schritten den Widerstand  $R_{Pot}$  am Potentiometer und bestimmen Sie für verschiedene Widerstände jeweils die Spannung  $U_{Last}$  und den Strom  $I_{Last}$ .

**Hinweis:** Unterbrechen Sie den Stromfluss (zum Beispiel durch Entfernen des Kabels) nach jeder Einzelmessung, um eine zu starke Entladung des Moduls während des Experiments zu vermeiden.

### Auswertung

1. Stellen Sie Ihre Messwerte in einem Diagramm dar.
2. Vergleichen Sie ihre gemessene Kennlinie mit den beigefügten Kennlinien und treffen Sie eine Aussage zum Zustand der Zelle. Berechnen Sie die Restkapazität des Akku-Moduls. Hinweise zur Berechnung finden Sie im Versuch „Die Nennspannung und Kapazität von Spannungsquellen“.
3. Erklären Sie in Bezug auf den Blei-Akku den Begriff Sulfatierung.
4. Erläutern Sie, weshalb die Elektroden bei Blei-Akkus in der Automobilindustrie oftmals hochpräzise ausgeführt sind.
5. Nennen Sie Faktoren, die zum Alterungsprozess von Blei-Akkus beitragen.



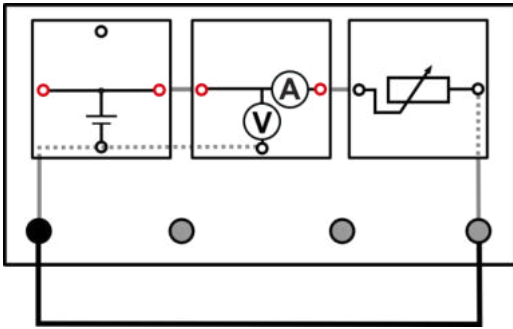


## 4.5 U-I-Kennlinie des Lithium-Polymer-Akkumoduls

### Aufgabe

Ermitteln Sie die U-I-Kennlinie des Lithium-Polymer-Akkumoduls.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 Grundeinheit
- 1 Akkumodul LiPo
- 1 Potentiometermodul
- 1 AV-Modul
- 1 Laborkabel

### Durchführung

1. Bauen Sie den Versuch entsprechend dem Schaltplan auf. Stecken Sie das Potentiometermodul noch nicht auf.
2. Messen Sie zunächst die Leerlaufspannung des Akku-Moduls  $U_0$  und tragen Sie Ihren Messwert in die Tabelle ein.
3. Stellen Sie am Potentiometer einen Widerstand  $R_{Pot}$  von  $60\Omega$  ein und stecken Sie das Modul auf die Grundeinheit. Messen Sie die Spannung  $U_{Last}$  und den Strom  $I_{Last}$  bei geschlossenem Stromkreis. Das AV-Modul wird im Strom-Spannungs-Modus betrieben. Tragen Sie ihre Messwerte in die Tabelle ein.
4. Verringern Sie in mehreren Schritten den Widerstand  $R_{Pot}$  am Potentiometer und bestimmen Sie für verschiedene Widerstände jeweils die Spannung  $U_{Last}$  und den Strom  $I_{Last}$ .

**Hinweis:** Unterbrechen Sie den Stromfluss (zum Beispiel durch Entfernen des Kabels) nach jeder Einzelmessung, um eine zu starke Entladung des Moduls während des Experiments zu vermeiden.

### Auswertung

1. Stellen Sie Ihre Messwerte in einem Diagramm dar.
2. Vergleichen Sie ihre gemessene Kennlinie mit den beigefügten Kennlinien und treffen Sie eine Aussage zum Zustand der Zelle. Berechnen Sie die Restkapazität des Akku-Moduls. Hinweise zur Berechnung finden Sie im Versuch „Die Nennspannung und Kapazität von Spannungsquellen“.
3. Benennen Sie wichtige Anwendungsbereiche von Lithium-Polymer-Akkus.
4. Benennen Sie Maßnahmen, die die Lebensdauer eines Lithium-Polymer-Akkus verlängern.





## 4.5 U-I-Kennlinie des Lithium-Polymer-Akkumoduls

### Auswertung

3.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

4.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

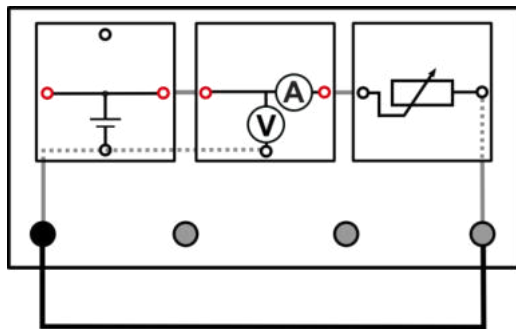
---

## 4.6 U-I-Kennlinie des dreifachen NiMH-Akkumoduls

### Aufgabe

Ermitteln Sie die U-I-Kennlinie des dreifachen NiMH-Akkumoduls.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 Grundeinheit
- 1 Akkumodul NiMH, dreifach
- 1 Potentiometermodul
- 1 AV-Modul
- 1 Laborkabel

### Durchführung

1. Bauen Sie den Versuch entsprechend dem Schaltplan auf. Stecken Sie das Potentiometermodul noch nicht auf.
2. Messen Sie zunächst die Leerlaufspannung des Akku-Moduls  $U_0$  und tragen Sie Ihren Messwert in die Tabelle ein.
3. Stellen Sie am Potentiometer einen Widerstand  $R_{Pot}$  von  $100\Omega$  ein und stecken Sie das Modul auf die Grundeinheit. Messen Sie die Spannung  $U_{Last}$  und den Strom  $I_{Last}$  bei geschlossenem Stromkreis. Das AV-Modul wird im Strom-Spannungs-Modus betrieben. Tragen Sie ihre Messwerte in die Tabelle ein.
4. Verringern Sie in mehreren Schritten den Widerstand  $R_{Pot}$  am Potentiometer und bestimmen Sie für verschiedene Widerstände jeweils die Spannung  $U_{Last}$  und den Strom  $I_{Last}$ .

**Hinweis:** Unterbrechen Sie den Stromfluss (zum Beispiel durch Entfernen des Kabels) nach jeder Einzelmessung, um eine zu starke Entladung des Moduls während des Experiments zu vermeiden.

### Auswertung

1. Stellen Sie Ihre Messwerte in einem Diagramm dar.
2. Vergleichen Sie ihre gemessene Kennlinie mit den beigefügten Kennlinien und treffen Sie eine Aussage zum Zustand der Zelle. Berechnen Sie die Restkapazität des Akku-Moduls. Hinweise zur Berechnung finden Sie im Versuch „Die Nennspannung und Kapazität von Spannungsquellen“.
3. Berechnen Sie, welche Gesamtspannung und Gesamtkapazität (Ah) eine Reihenschaltung aus zwei Batterien mit je 12V Leerlaufspannung und 50Ah Kapazität besitzt.





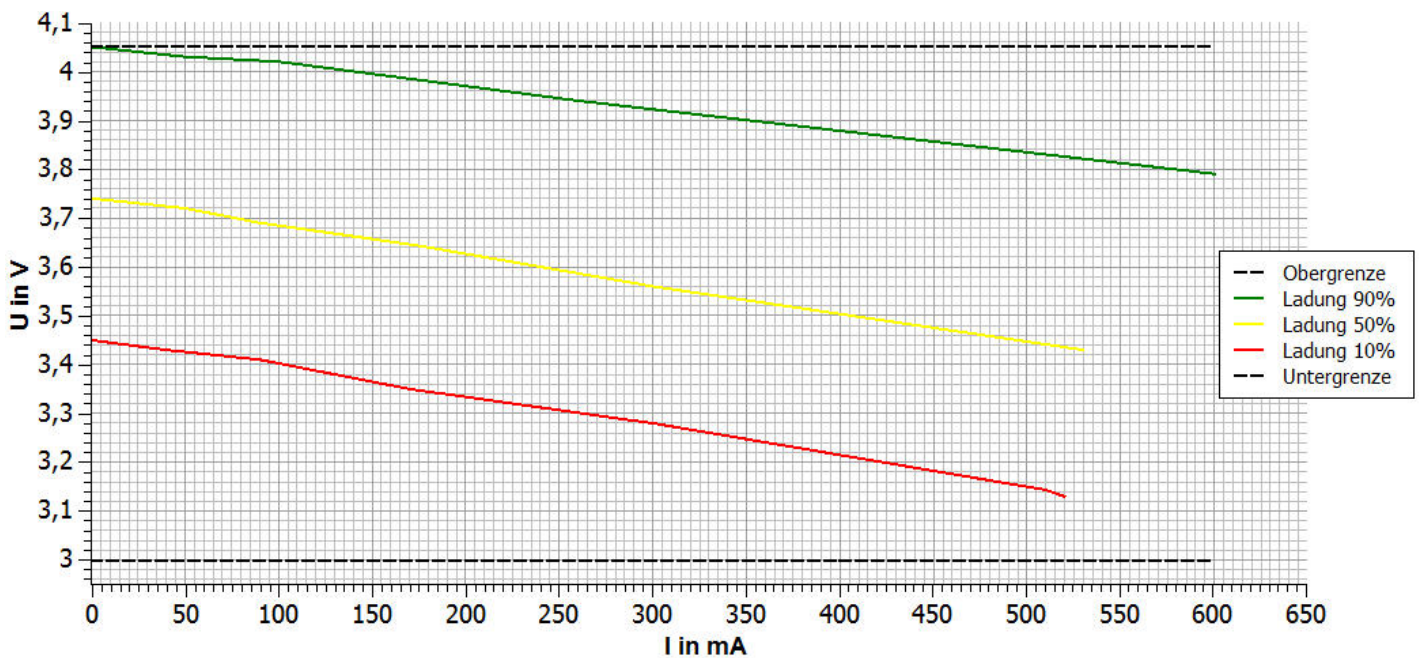
### 4.6 U-I-Kennlinie des dreifachen NiMH-Akkumoduls

#### Messwerte

$U_0 =$  \_\_\_\_\_

$R_{Pot}$ in $\Omega$										
$U_{Last}$ in V										
$I_{Last}$ in mA										

#### Diagramme



#### Auswertung

2.

---



---



---



---



---



---

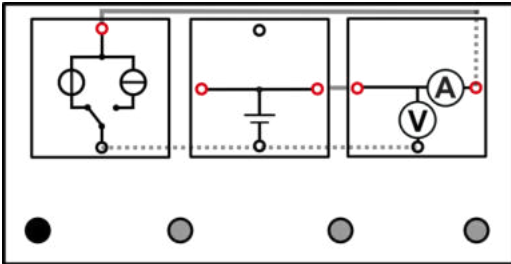


## 5.1 Das Ladeverfahren des NiMH-Akkus

### Aufgabe

Laden Sie den NiMH-Akku mithilfe des ChargerModuls.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 Grundeinheit
- 1 ChargerModul
- 1 NiMH-Akku, einfach
- 1 AV-Modul
- 1 Laborkabel

### Durchführung

1. Bauen Sie den Versuch entsprechend dem Schaltplan auf. Verwenden Sie das ChargerModul im NiMH-Modus (NiMH,einfach). Hinweise zur Handhabung des ChargerModuls finden Sie auf Seite 5. Schalten Sie den Charger noch nicht ein.
2. Messen und erfassen Sie die Leerlaufspannung  $U_0$  des NiMH-Moduls.

**Hinweis:** Das Akku-Modul sollte zu Beginn des Versuchs zu nicht mehr als etwa 50% Prozent geladen sein (dies entspricht einer Leerlaufspannung von etwa 1,18V). Zum Entladen kann der Akku mit Hilfe der Widerstände auf den gewünschten Ladezustand gebracht werden. Falls der Ladezustand unterhalb von 50% liegt, dauert der Versuch einfach entsprechend länger.

3. Nehmen Sie den Ladevorgang auf, indem Sie bis zum Abbruch des Ladeprogramms in Abständen von 1min die Spannung  $U$  und Stromstärke  $I$  am Akkumodul erfassen. Das AV-Modul wird dazu im Strom-Spannungsmodus betrieben.

### Auswertung

1. Tragen Sie Ihre Messwerte in das Diagramm ein.
2. Beschreiben und erklären Sie das Verhalten von Strom und Spannung während des Ladevorgangs.
3. Erklären Sie den *Memory-Effekt* und den *Lazy-Effekt*. Erläutern Sie die Bedeutung der beide Effekte bei herkömmlichen NiMH-Akkus.
4. Erklären Sie den Begriff *Zykeln*.



### 5.1 Das Ladeverfahren des NiMH-Akkus

#### Messwerte

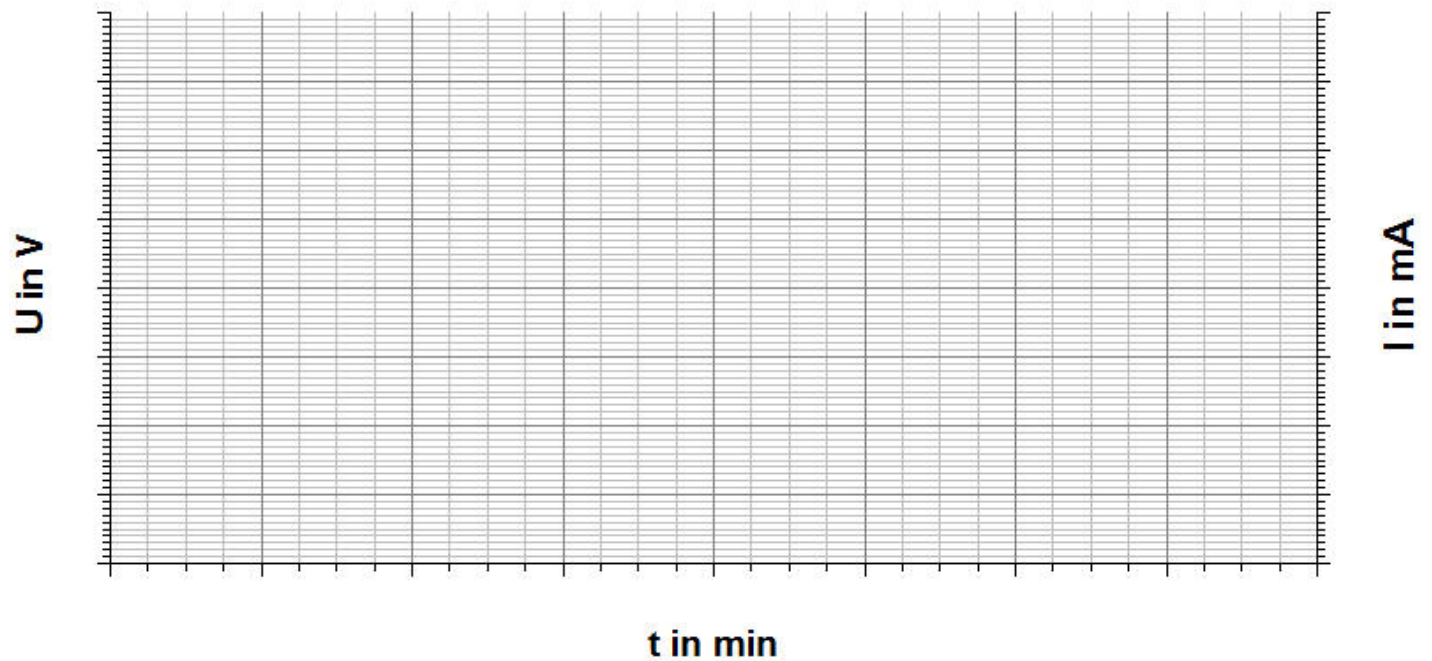
$U_0(1) =$  \_\_\_\_\_

t in min												
U in V												
I in mA												

t in min												
U in V												
I in mA												

t in min												
U in V												
I in mA												

#### Diagramme



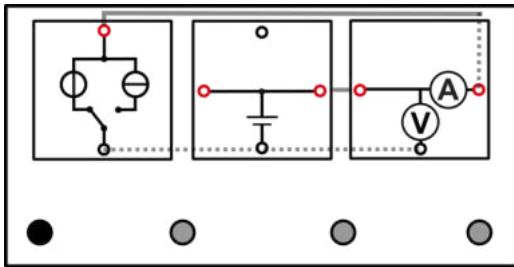


## 5.2 Das Ladeverfahren des NiZn-Akkus

### Aufgabe

Laden Sie den NiZn-Akku mithilfe des ChargerModuls.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 Grundeinheit
- 1 ChargerModul
- 1 NiZn-Akku
- 1 AV-Modul
- 1 Laborkabel

### Durchführung

1. Bauen Sie den Versuch entsprechend dem Schaltplan auf. Verwenden Sie das ChargerModul im NiZn-Modus. Hinweise zur Handhabung des ChargerModuls finden Sie auf Seite 5. Schalten Sie den Charger noch nicht ein.
2. Messen und erfassen Sie die Leerlaufspannung  $U_0$  des NiZn-Moduls.

**Hinweis:** Das Akku-Modul sollte zu Beginn des Versuchs maximal zu etwa 20% Prozent geladen sein (dies entspricht einer Leerlaufspannung von etwa 1,4V). Zum Entladen kann der Akku mit Hilfe der Widerstände auf den gewünschten Ladezustand gebracht werden. Falls der Ladezustand unterhalb von 20% liegt, dauert der Versuch einfach entsprechend länger.

3. Nehmen Sie den Ladevorgang auf, indem Sie bis zum Abbruch des Ladeprogramms in Abständen von 10s die Spannung  $U$  und Stromstärke  $I$  am Akkumodul erfassen. Das AV-Modul wird dazu im Strom-Spannungsmodus betrieben.

### Auswertung

1. Tragen Sie Ihre Messwerte in das Diagramm ein.
2. Beschreiben und begründen Sie das Verhalten von Strom und Spannung während des Ladevorgangs.
3. Bestimmen Sie die Zeit  $t_c$ , nach welcher der Wechsel zwischen dem CC-Modus (Constant Current) und dem CV-Modus (Constant Voltage) stattfindet.
4. Erklären Sie, weshalb die Spannung im CV-Modus weiterhin leicht ansteigt (trotz einer angelegten konstanten Spannung).



### 5.2 Das Ladeverfahren des NiZn-Akkus

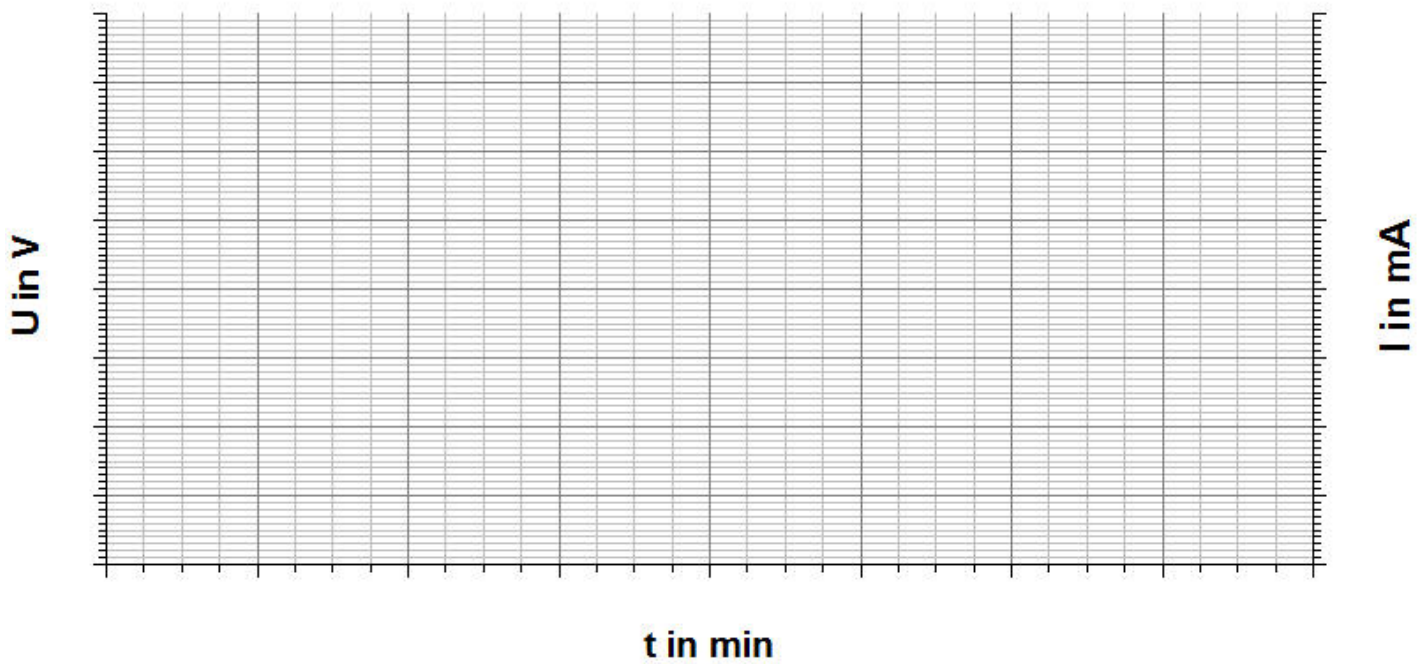
#### Messwerte

$U_0(1) =$  \_\_\_\_\_

t in s												
U in V												
I in mA												

t in s												
U in V												
I in mA												

#### Diagramme



#### Auswertung

2.

---



---



---



## 5.2 Das Ladeverfahren des NiZn-Akkus

### Auswertung

---

---

---

---

---

3.

4.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

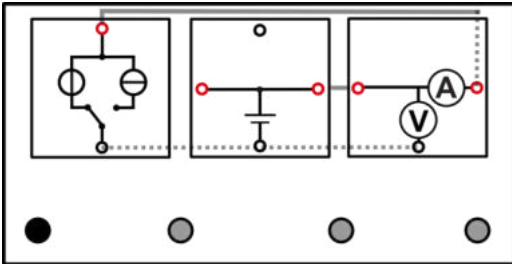


## 5.3 Das Ladeverfahren des LiFePo-Akkus

## Aufgabe

Laden Sie den LiFePo-Akku mithilfe des ChargerModuls.

## Aufbau



## Benötigte Geräte

- 1 Grundeinheit
- 1 ChargerModul
- 1 LiFePo-Akku
- 1 AV-Modul
- 1 Laborkabel

## Durchführung

1. Bauen Sie den Versuch entsprechend dem Schaltplan auf. Verwenden Sie das ChargerModul im LiFePo-Modus. Hinweise zur Handhabung des ChargerModuls finden Sie auf Seite 5. Schalten Sie den Charger noch nicht ein.
2. Messen und erfassen Sie die Leerlaufspannung  $U_0$  des LiFePo-Moduls.

**Hinweis:** Das Akku-Modul sollte zu Beginn des Versuchs maximal zu etwa 50% Prozent geladen sein (dies entspricht einer Leerlaufspannung von etwa 3,3V). Zum Entladen kann der Akku mit Hilfe der Widerstände auf den gewünschten Ladezustand gebracht werden. Falls der Ladezustand unterhalb von 50% liegt, dauert der Versuch einfach entsprechend länger.

3. Nehmen Sie den Ladevorgang auf, indem Sie bis zum Abbruch des Ladeprogramms in Abständen von 1min die Spannung  $U$  und Stromstärke  $I$  am Akkumodul erfassen. Das AV-Modul wird dazu im Strom-Spannungsmodus betrieben.

## Auswertung

1. Tragen Sie Ihre Messwerte in das Diagramm ein.
2. Beschreiben und begründen Sie das Verhalten von Strom und Spannung während des Ladevorgangs.
3. Bestimmen Sie die Zeit  $t_c$ , nach welcher der Wechsel zwischen dem CC-Modus (Constant Current) und dem CV-Modus (Constant Voltage) stattfindet.
4. Begründen Sie die kleinen „Buckel“ in der Entladekurve eines LiFePo-Akkus.
5. Erläutern Sie den Einfluss der Entladetiefe auf die Lebensdauer von LiFePo-Akkus.



### 5.3 Das Ladeverfahren des LiFePo-Akkus

#### Messwerte

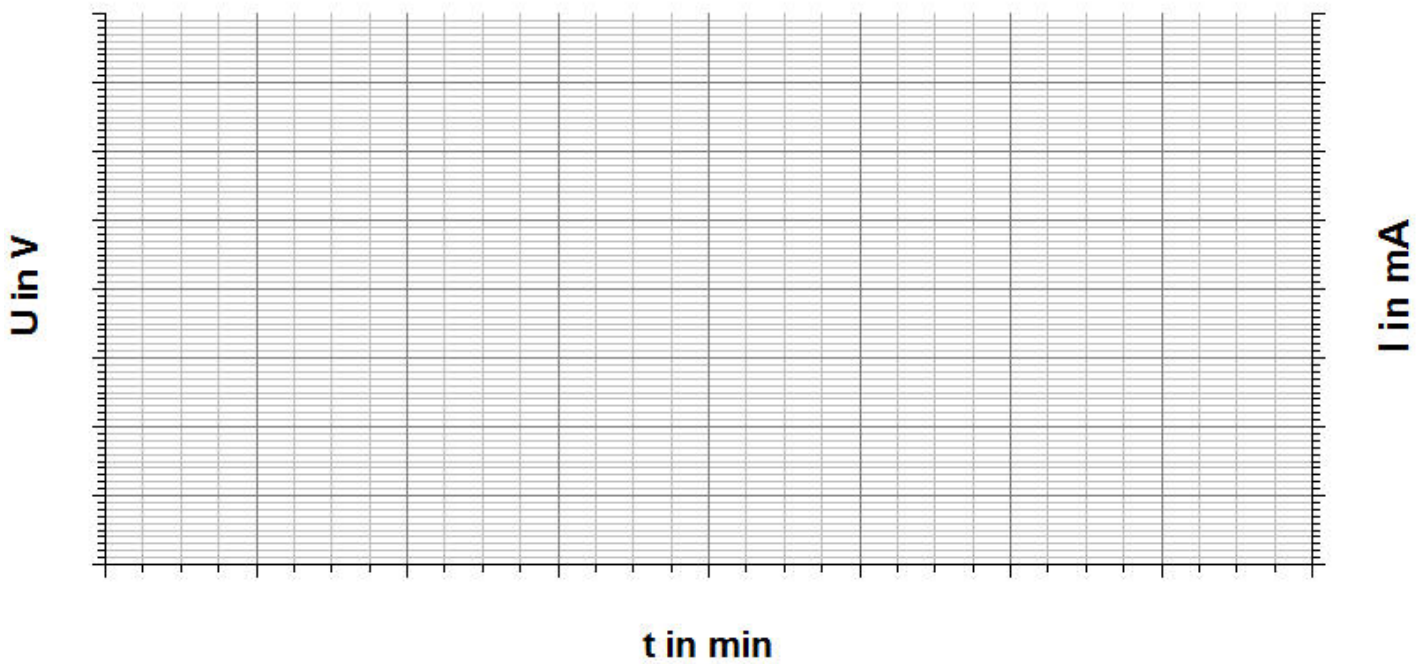
$U_0(1) =$  \_\_\_\_\_

t in min												
U in V												
I in mA												

t in min												
U in V												
I in mA												

t in min												
U in V												
I in mA												

#### Diagramme



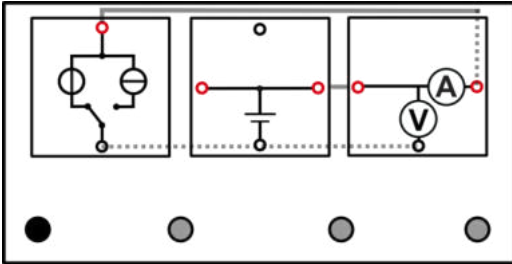


## 5.4 Das Ladeverfahren des Blei-Akkus

## Aufgabe

Laden Sie den Blei-Akku mithilfe des ChargerModuls.

## Aufbau



## Benötigte Geräte

- 1 Grundeinheit
- 1 ChargerModul
- 1 Blei-Akku
- 1 AV-Modul
- 1 Laborkabel

## Durchführung

1. Bauen Sie den Versuch entsprechend dem Schaltplan auf. Verwenden Sie das ChargerModul im Blei-Modus. Hinweise zur Handhabung des ChargerModuls finden Sie auf Seite 5. Schalten Sie den Charger noch nicht ein.
2. Messen und erfassen Sie die Leerlaufspannung  $U_0$  des Blei-Moduls.

**Hinweis:** Das Akku-Modul sollte zu Beginn des Versuchs maximal zu etwa 50% Prozent geladen sein (dies entspricht einer Leerlaufspannung von etwa 2,03V). Zum Entladen kann der Akku mit Hilfe der Widerstände auf den gewünschten Ladezustand gebracht werden. Falls der Ladezustand unterhalb von 50% liegt dauert der Versuch einfach entsprechend länger.

3. Nehmen Sie den Ladevorgang auf, indem Sie bis zum Abbruch des Ladeprogramms in Abständen von 1min die Spannung  $U$  und Stromstärke  $I$  am Akkumodul erfassen. Das AV-Modul wird dazu im Strom-Spannungsmodus betrieben.

## Auswertung

1. Tragen Sie Ihre Messwerte in das Diagramm ein.
2. Beschreiben und begründen Sie das Verhalten von Strom und Spannung während des Ladevorgangs.
3. Bestimmen Sie die Zeit  $t_c$ , nach welcher der Wechsel zwischen dem CC-Modus (Constant Current) und dem CV-Modus (Constant Voltage) stattfindet.
4. Erklären Sie den Begriff *Gasungsspannung*.
5. Erläutern Sie den Einfluss der Temperatur auf die Ladeschlussspannung eines Blei-Akkus.



### 5.4 Das Ladeverfahren des Blei-Akkus

#### Messwerte

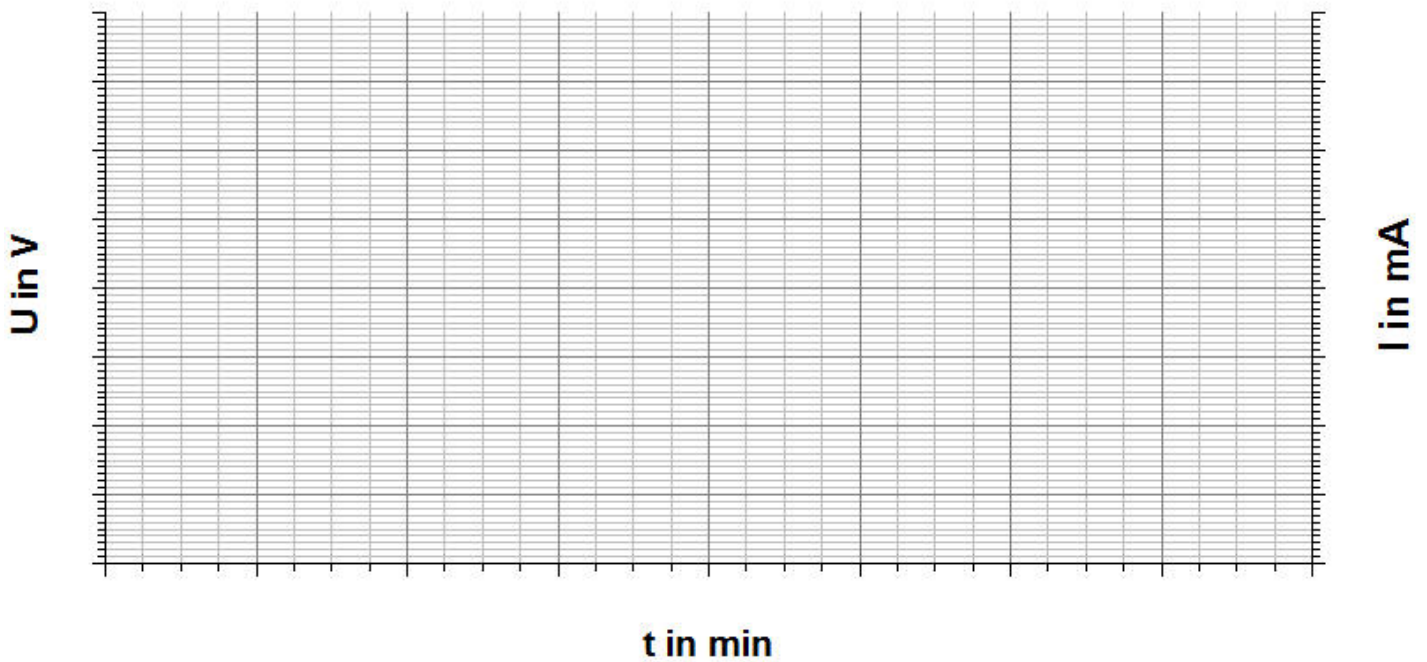
$U_0(1) =$

t in min													
U in V													
I in mA													

t in min													
U in V													
I in mA													

t in min													
U in V													
I in mA													

#### Diagramme



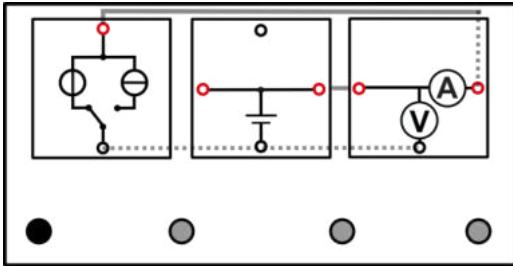


## 5.5 Das Ladeverfahren des LiPo-Akkus

### Aufgabe

Laden Sie den LiPo-Akku mithilfe des ChargerModuls.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 Grundeinheit
- 1 ChargerModul
- 1 LiPo-Akku
- 1 AV-Modul
- 1 Laborkabel

### Durchführung

1. Bauen Sie den Versuch entsprechend dem Schaltplan auf. Verwenden Sie das ChargerModul im LiPo-Modus. Hinweise zur Handhabung des ChargerModuls finden Sie auf Seite 5. Schalten Sie den Charger noch nicht ein.
2. Messen und erfassen Sie die Leerlaufspannung  $U_0$  des LiPo-Moduls.

**Hinweis:** Das Akku-Modul sollte zu Beginn des Versuchs maximal zu etwa 75% Prozent geladen sein (dies entspricht einer Leerlaufspannung von etwa 3,9V). Zum Entladen kann der Akku mit Hilfe der Widerstände auf den gewünschten Ladezustand gebracht werden. Falls der Ladezustand unterhalb von 75% liegt, dauert der Versuch einfach entsprechend länger.

3. Nehmen Sie den Ladevorgang auf, indem Sie bis zum Abbruch des Ladeprogramms in Abständen von 1min die Spannung  $U$  und Stromstärke  $I$  am Akkumodul erfassen. Das AV-Modul wird dazu im Strom-Spannungsmodus betrieben.

### Auswertung

1. Tragen Sie Ihre Messwerte in das Diagramm ein.
2. Beschreiben und begründen Sie das Verhalten von Strom und Spannung während des Ladevorgangs.
3. Bestimmen Sie die Zeit  $t_c$ , nach welcher der Wechsel zwischen dem CC-Modus (Constant Current) und dem CV-Modus (Constant Voltage) stattfindet.
4. Erklären Sie, weshalb bei Lithium-basierten Akku-Typen kein ausschließliches CC-Ladeverfahren angewendet werden sollte.



### 5.5 Das Ladeverfahren des LiPo-Akkus

#### Messwerte

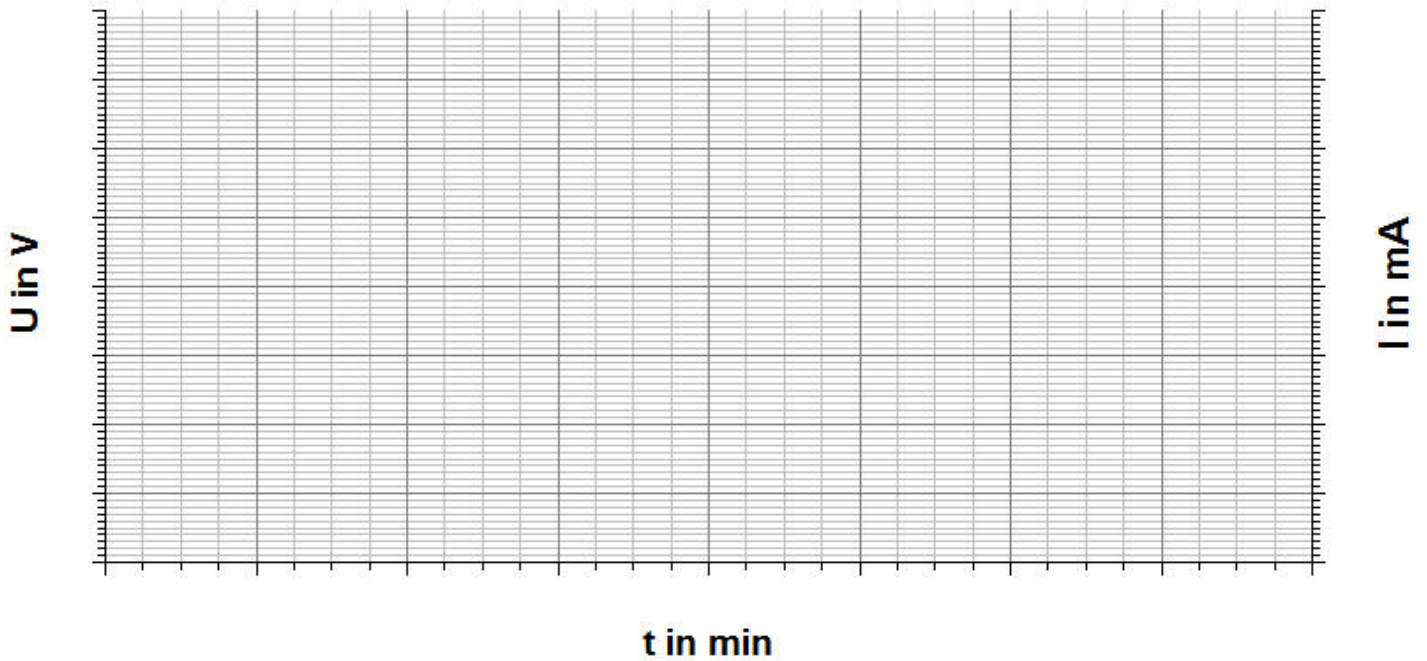
$U_0(1) =$  \_\_\_\_\_

t in min														
U in V														
I in mA														

t in min														
U in V														
I in mA														

t in min														
U in V														
I in mA														

#### Diagramme







## 5.5 Das Ladeverfahren des LiPo-Akkus

### Auswertung

2.

---

---

---

---

---

---

---

---

3.

4.

---

---

---

---

---

---

---

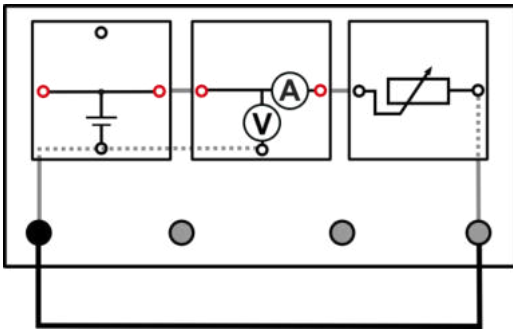
---

## 5.6 Das Entladeverfahren eines Akkumoduls

### Aufgabe

Untersuchen Sie das Entladeverhalten eines Akkumoduls.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 Grundeinheit
- 1 Akkumodul NiMH, einfach
- 1 Potentiometermodul
- 1 AV-Modul
- 1 Laborkabel

### Durchführung

1. Bauen Sie den Versuch entsprechend dem Schaltplan auf. Stecken Sie das Potentiometer noch nicht ein, damit das Experiment nicht ohne Aufnahme der Messwerte startet.
2. Messen Sie zunächst die Leerlaufspannung des Akku-Moduls  $U_0(1)$  und notieren Sie den Wert.
3. Stecken Sie das Potentiometer auf die Grundeinheit und regeln Sie den Widerstand so, dass ein Entladestrom von 250mA fließt. Das AV-Modul wird im Strom-Spannungs-Modus betrieben.
4. Messen Sie anschließend zehn Minuten lang in Abständen von einer Minute die Spannung  $U$  und den Strom  $I$ . Regeln Sie gegebenenfalls den Widerstand am Potentiometer nach, um den Entladestrom konstant zu halten. Tragen Sie ihre Messwerte in die Tabelle ein. Entfernen Sie nach Beendigung des Versuchs das Kabel von der Grundeinheit.
5. Messen Sie fünf Minuten nach Beendigung des Experiments erneut die Leerlaufspannung  $U_0(2)$ .

**Hinweis:** Das Akku-Modul sollte vor Beginn des Versuchs zu mindestens 75% geladen sein (entspricht einer Leerlaufspannung von etwa 1,26V).

### Messwerte

$U_0(1) =$  \_\_\_\_\_       $U_0(2) =$  \_\_\_\_\_

t in min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U in V											

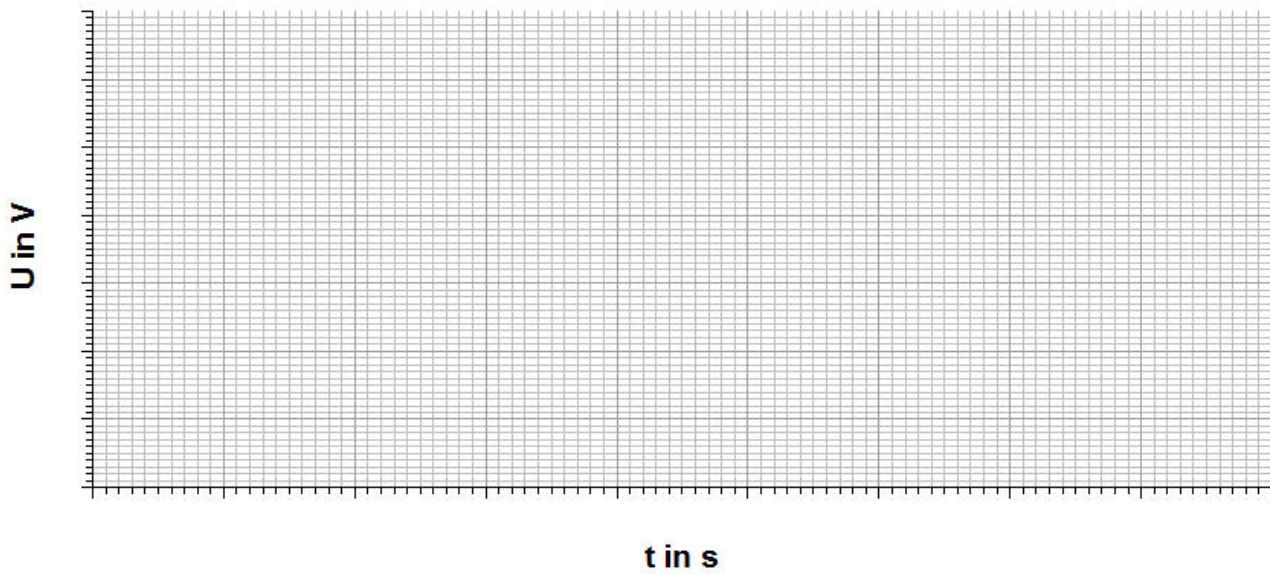
### Auswertung

1. Tragen Sie Ihre Messwerte in das Diagramm ein.
2. Berechnen Sie die Kapazität des Akkumoduls zu Beginn und nach Beendigung des Experiments mithilfe der Leerlaufspannung. Hinweise dazu finden Sie im Versuch „Die Nennspannung und Kapazität von Spannungsquellen“.
3. Benennen Sie Ursachen einer Tiefentladung von Akkus und Schutzmöglichkeiten.



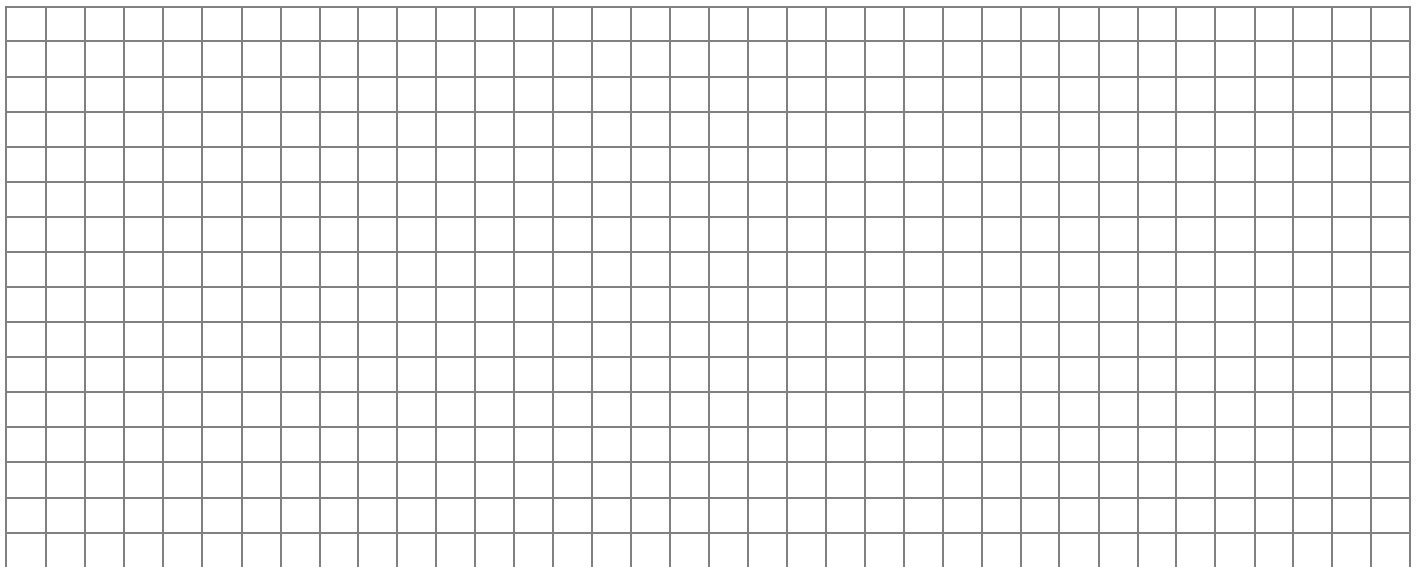
## 5.6 Das Entladeverfahren eines Akkumoduls

### Diagramme



### Auswertung

2.



3.

---

---

---

---

---

---

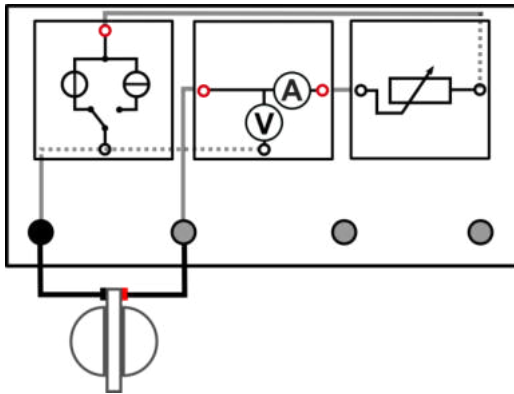
---

## 6.1 Die Wasserstoffproduktion der reversiblen Brennstoffzelle

### Aufgabe

Untersuchen Sie die Wasserstoffproduktion einer reversiblen Brennstoffzelle.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 Grundeinheit
- 1 reversible Brennstoffzelle
- 1 ChargerModul
- 1 AV-Modul
- 1 Potentiometermodul
- 2 Laborkabel

### Durchführung

1. Befüllen Sie die Brennstoffzelle mit destilliertem Wasser. Hinweise zur Handhabung der reversiblen Brennstoffzelle finden Sie auf Seite 11.
2. Bauen Sie den Versuch entsprechend dem Schaltplan auf. Achten Sie auf die Polarität der Anschlüsse.
3. Das ChargerModul wird um 90° gedreht auf die Grundeinheit aufgesteckt (siehe Skizze) und im Elektrolyseur-Modus („Electrolyzer“) betrieben. Hinweise zur Nutzung finden Sie auf Seite 5.
4. Stellen Sie zunächst am Potentiometer einen Widerstand von  $2\Omega$  ein und messen Sie Strom  $I$  und Spannung  $U$  an der Brennstoffzelle. Das AV-Modul wird im Strom-Spannungs-Modus betrieben.
5. Wiederholen Sie das Experiment mit verschiedenen Widerständen (siehe Tabelle) und erfassen Sie jeweils die Zeit, welche zur Produktion von 3 ml Wasserstoff ( $H_2$ ) benötigt wird. Tragen Sie alle Werte in die Tabelle ein.

**Hinweis:** Achten Sie beim Aufbau darauf, dass der Stromkreis vor Beginn jeder Teilmessung geöffnet ist (zum Beispiel durch Entfernen eines Kabels), damit das Experiment nicht ohne die Aufnahme der Messwerte beginnt.

### Auswertung

1. Tragen Sie Ihre Messwerte in das Diagramm ein.
2. Beschreiben Sie Ihre Messwerte und den Zusammenhang zwischen Stromstärke und Wasserstoffproduktion.
3. Erklären Sie weshalb die Spannung nahezu konstant bleibt, während die Stromstärke mit höherem Widerstand sinkt.

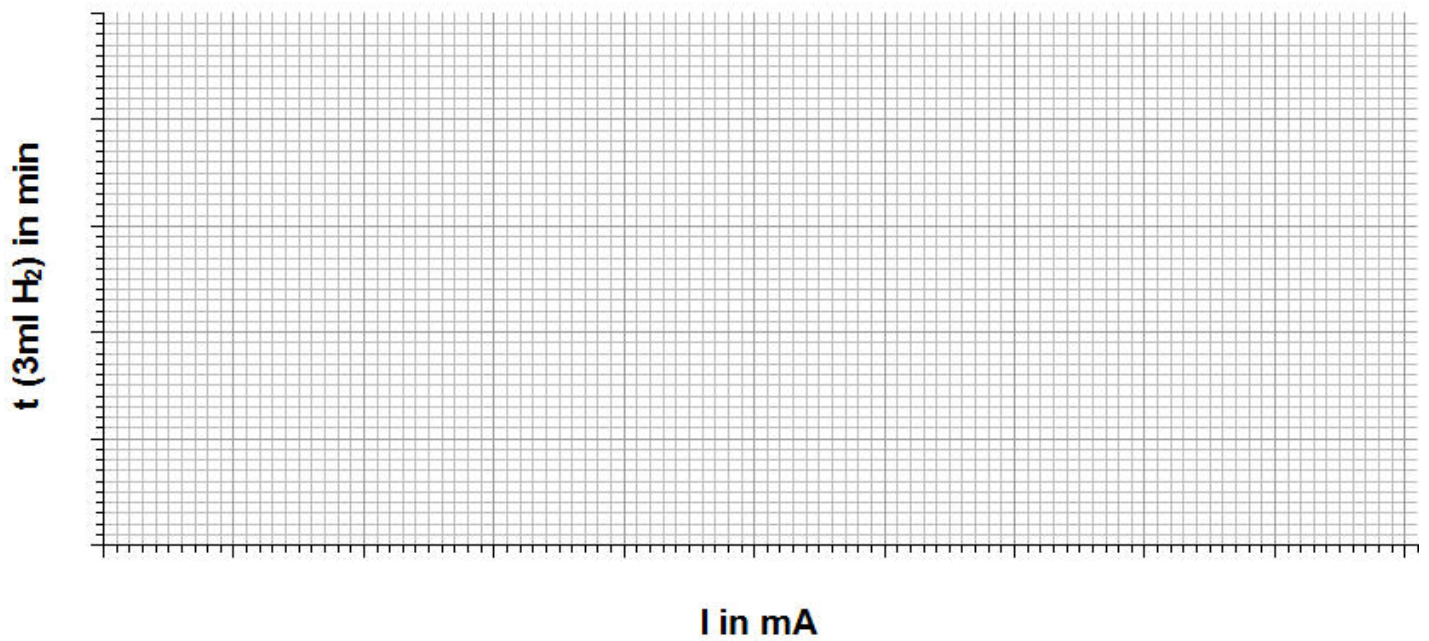
### Messwerte

R in $\Omega$	2	4	6	8
U in V				
I in mA				
Zeit (3ml $H_2$ ) in min				



## 6.1 Die Wasserstoffproduktion der reversiblen Brennstoffzelle

### Diagramme



### Auswertung

2.

---

---

---

---

---

---

---

---

3.

---

---

---

---

---

---

---

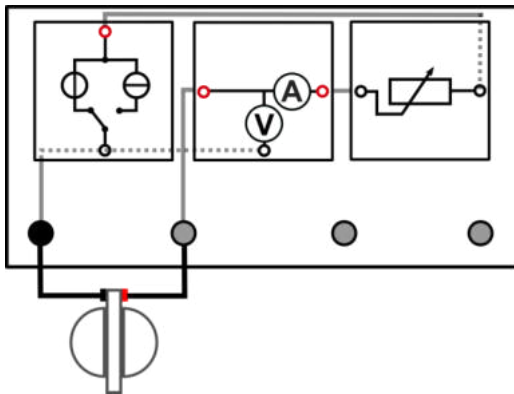
---

## 6.2 Die Kennlinie des Elektrolyseurs

### Aufgabe

Verwenden Sie die reversible Brennstoffzelle als Elektrolyseur und nehmen Sie die zugehörige Kennlinie auf.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 Grundeinheit
- 1 reversible Brennstoffzelle
- 1 ChargerModul
- 1 AV-Modul
- 1 Potentiometermodul
- 2 Laborkabel

### Durchführung

1. Befüllen Sie die Brennstoffzelle mit destilliertem Wasser. Hinweise zur Handhabung der reversiblen Brennstoffzelle finden Sie auf Seite 11.
2. Bauen Sie den Versuch entsprechend dem Schaltplan auf. Achten Sie auf die Polarität der Anschlüsse.
3. Das ChargerModul wird um 90° gedreht auf die Grundeinheit aufgesteckt (siehe Skizze) und im Festspannungsmodus mit 3V betrieben. Hinweise zur Nutzung finden Sie auf Seite 5.
4. Stellen Sie zunächst am Potentiometer den maximalen Widerstand von 110Ω ein und messen Sie Strom  $I$  und Spannung  $U$  an der Brennstoffzelle. Das AV-Modul wird im Strom-Spannungs-Modus betrieben.
5. Verringern Sie nun in mehreren Schritten den Widerstand am Potentiometer und nehmen Sie jeweils Strom und Spannung auf. Tragen Sie Ihre Werte in die Tabelle ein.

**Hinweis:** Achten Sie beim Aufbau darauf, dass der Stromkreis vor Beginn der Messung geöffnet ist (zum Beispiel durch Entfernen eines Kurzschlusssteckers), damit das Experiment nicht ohne die Aufnahme der Messwerte beginnt.

### Messwerte

U in V									
I in mA									
U in V									
I in mA									

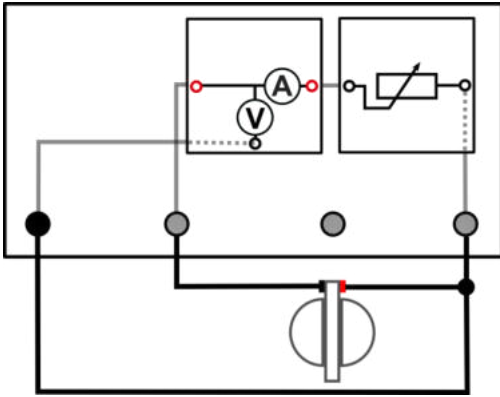


## 6.3 Der Wasserstoffverbrauch einer Brennstoffzelle

### Aufgabe

Untersuchen Sie den Wasserstoffverbrauch einer Brennstoffzelle.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 Grundeinheit
- 1 reversible Brennstoffzelle
- 1 Potentiometermodul
- 1 AV-Modul
- 3 Laborkabel

### Durchführung

1. Vor dem Betrieb der Brennstoffzelle muss diese zunächst mit ca. 8ml Wasserstoff befüllt werden. Hinweise dazu finden Sie im Versuch „Die Wasserstoffproduktion der Brennstoffzelle“.
2. Bauen Sie den Versuch entsprechend dem Schaltplan auf.
3. Betreiben Sie die Brennstoffzelle im ersten Teilversuch bei einem Potentiometerwiderstand von  $R=4\Omega$ . Nehmen Sie während des Betriebs in Abständen von einer Minute jeweils Spannung  $U$ , Stromstärke  $I$  und den Wasserstoffverbrauch auf. Das AV-Modul wird dazu im Strom-Spannungs-Modus betrieben.
4. Füllen Sie die Brennstoffzelle zunächst wieder auf (mit etwa 12ml  $H_2$ ) und betreiben Sie diese anschließend bei einem Potentiometerwiderstand von  $R=2,0\Omega$ . Nehmen Sie während des Betriebs in Abständen von einer Minute jeweils Spannung  $U$ , Stromstärke  $I$  und den Wasserstoffverbrauch auf.

### Auswertung

1. Tragen Sie Ihre Werte in das Diagramm ein.
2. Beschreiben Sie das Verhalten von Stromstärke, Spannung und Wasserstoffverbrauch der Brennstoffzelle während des Experiments.
3. Erläutern Sie den Einfluss des Lastwiderstands des Potentiometers auf den Betrieb der Brennstoffzelle.

### Messwerte

**$R=4\ \Omega$**

t in min	1	2	3	4	5
U in V					
I in mA					
H <sub>2</sub> in ml					





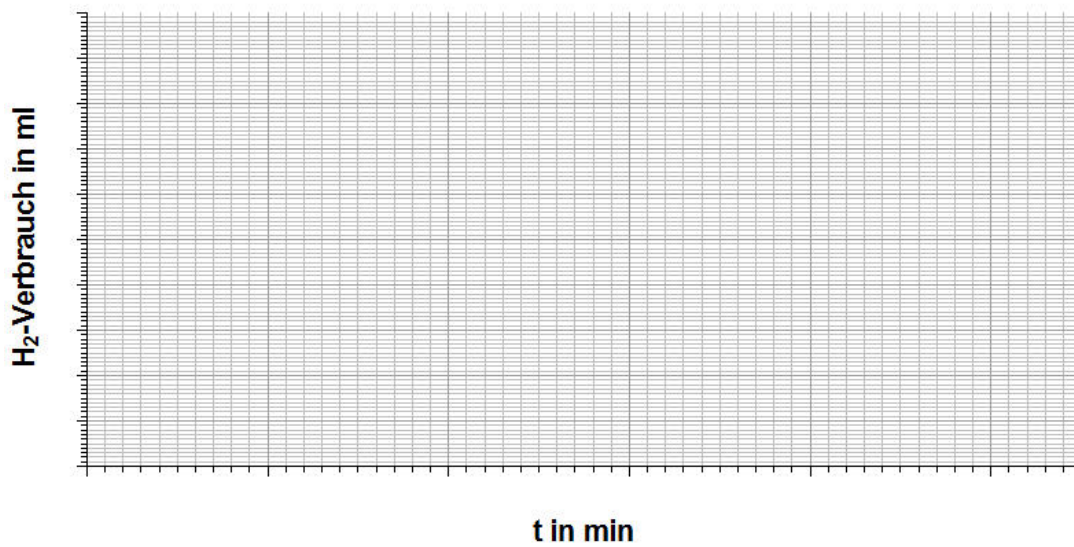
## 6.3 Der Wasserstoffverbrauch einer Brennstoffzelle

### Messwerte

**R=2,0Ω**

t in min	1	2	3	4	5
U in V					
I in mA					
H <sub>2</sub> in ml					

### Diagramme



### Auswertung

2.

---

---

---

---

---

3.

---

---

---

---

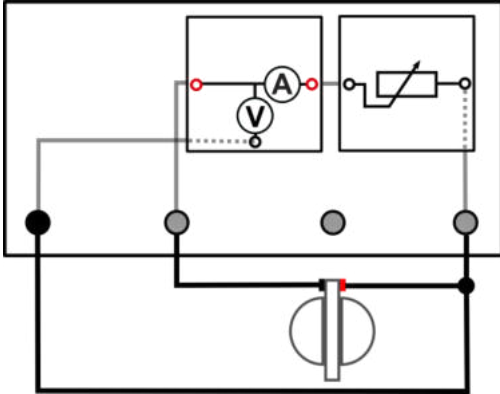
---

## 6.4 Die Kennlinie der Brennstoffzelle

### Aufgabe

Ermitteln Sie die U-I-Kennlinie einer Brennstoffzelle.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 Grundeinheit
- 1 reversible Brennstoffzelle
- 1 Potentiometermodul
- 1 AV-Modul
- 3 Laborkabel

### Vorbereitung

Bevor Sie mit dem Versuch starten, müssen Sie mit der reversiblen Brennstoffzelle ca. 10 ml Wasserstoff produzieren (siehe Versuch „Die Wasserstoffproduktion der Brennstoffzelle“). Die Zelle erzeugt während des Ladens einen kapazitiven Effekt, welcher vor der Messung abgebaut werden muss. Berücksichtigen Sie deshalb, dass die reversible Brennstoffzelle vor dem Messvorgang kurz (ca. 20 Sekunden bei  $10\Omega$ ) entladen werden muss. Die für das Experiment notwendige Leerlaufspannung liegt zwischen  $0,8\text{V} - 0,9\text{V}$ .

### Durchführung

1. Bauen Sie den Versuch entsprechend dem Schaltplan auf. Stecken Sie das
2. Potentiometer noch nicht auf.
3. Messen Sie zunächst die Leerlaufspannung der Brennstoffzelle  $U_0$  und tragen Sie Ihre Messwerte in die Tabelle ein.
4. Stecken Sie das Potentiometer auf und stellen Sie den maximalen Widerstand von  $110\Omega$  ein. Messen Sie anschließend die Spannung  $U$  und den Strom  $I$ . Das AV-Modul wird im Strom-Spannungs-Modus betrieben.
5. Verringern Sie nun in mehreren Schritten den Widerstand am Potentiometer und messen Sie jeweils Strom  $I$  und Spannung  $U$  an der Brennstoffzelle.

### Auswertung

1. Stellen Sie Ihre Messwerte im beigefügten Diagramm dar.
2. Beschreiben Sie den Verlauf der U-I-Kennlinie.
3. Erläutern Sie, welcher Bereich der Kennlinie für den Betrieb eines Verbrauchers genutzt werden sollte.
4. Erklären Sie, weshalb die Spannung mit höherer Stromstärke absinkt.



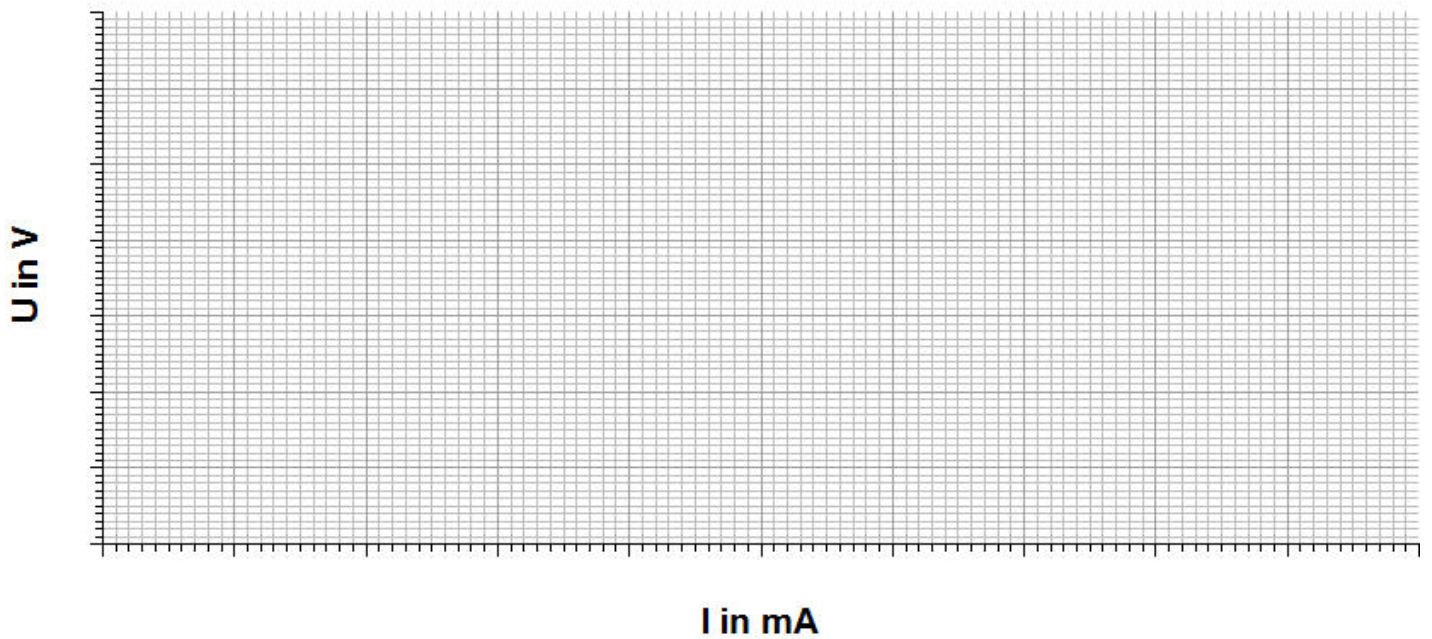
## 6.4 Die Kennlinie der Brennstoffzelle

### Messwerte

U in V														
I in mA														

U in V														
I in mA														

### Diagramm



### Auswertung

2.

---

---

---

---

---

---

---



## 6.4 Die Kennlinie der Brennstoffzelle

### Auswertung

3.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

4.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

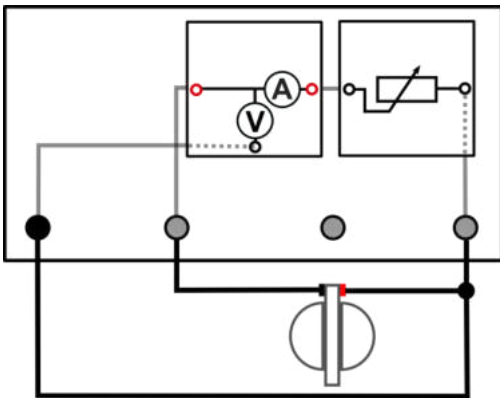
---

## 6.5 Der Wirkungsgrad der Brennstoffzelle

### Aufgabe

Ermitteln Sie den Wirkungsgrad der reversiblen Brennstoffzelle

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 Grundeinheit
- 1 reversible Brennstoffzelle
- 1 Potentiometermodul
- 1 AV-Modul
- 3 Laborkabel

### Vorbereitung

Bevor Sie mit dem Versuch starten, müssen Sie mit der reversiblen Brennstoffzelle ca. 5 ml Wasserstoff produzieren (siehe Versuch „Die Wasserstoffproduktion der Brennstoffzelle“). Die Zelle erzeugt während des Ladens einen kapazitiven Effekt, welcher vor der Messung abgebaut werden muss. Berücksichtigen Sie deshalb, dass die reversible Brennstoffzelle vor dem Messvorgang kurz (ca. 20 Sekunden bei  $10\Omega$ ) entladen werden muss. Die für das Experiment notwendige Leerlaufspannung liegt zwischen  $0,8V - 0,9 V$ .

### Durchführung

1. Bauen Sie den Versuch entsprechend dem Schaltplan auf.
2. Stellen Sie am Potentiometer einen Widerstand von  $5\Omega$  ein. Messen Sie anschließend die Spannung  $U$  und den Strom  $I$ . Das AV-Modul wird im Strom-Spannungs-Modus betrieben.
3. Messen Sie die Zeit, innerhalb der 2ml Wasserstoff verbraucht werden.

### Messwerte

$U =$  \_\_\_\_\_

$I =$  \_\_\_\_\_

$t =$  \_\_\_\_\_



## 6.5 Der Wirkungsgrad der Brennstoffzelle

## Auswertung

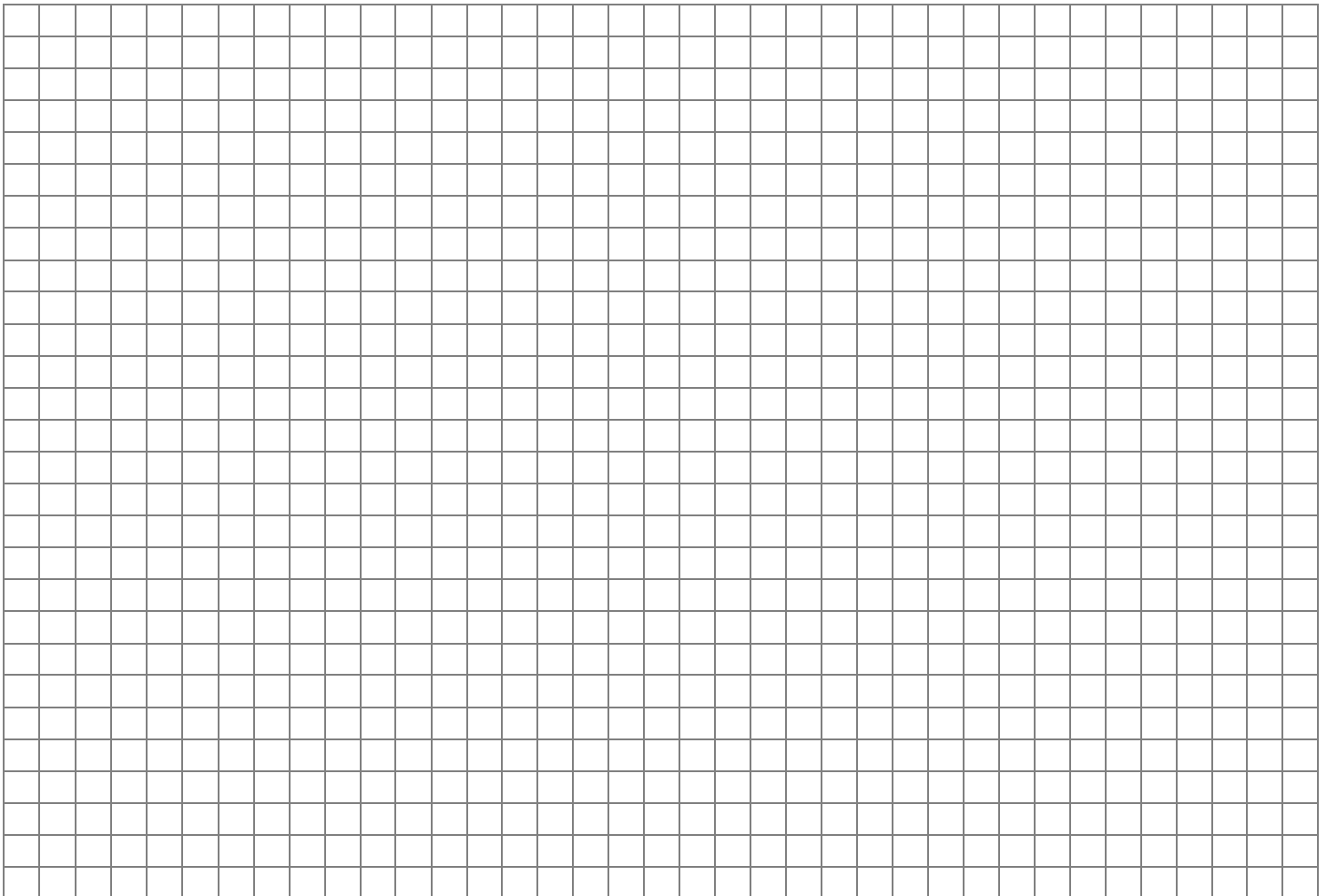
1. Berechnen Sie die elektrische Energie, welche während des Versuchs verbraucht wurde. Die elektrische Energie wird berechnet mithilfe folgender Formel:

$$W_2 = U \cdot I \cdot t$$

2. Berechnen Sie, wie lange sich der Motor mit einer kompletten H<sub>2</sub>-Füllung (12 ml) drehen würde.
3. Bestimmen Sie den Wirkungsgrad der reversiblen Brennstoffzelle. Der Wirkungsgrad der reversiblen Brennstoffzelle wird über folgende Formel bestimmt :

$$\eta = \frac{W_2}{W_1}$$

(Der untere Brennwert von 2ml H<sub>2</sub> beträgt W<sub>1</sub>= 22 Ws)

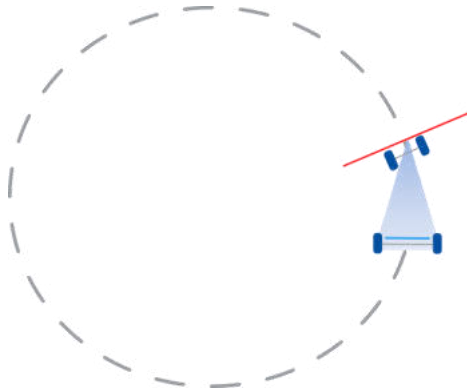


## 7.1 Betrieb des Elektroautos mit verschiedenen Akkumodulen

### Aufgabe

Beobachten Sie das Fahrverhalten des Autos mit verschiedenen Akkumodulen und schließen Sie auf deren Eigenschaften.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- Elektroauto mit Modulplatte
- 1 AV-Modul
- Bleiakкумулятор
- NiZn-Akkumodul
- NiMh-Akkumodul (einfach)
- LiFePo-Akkumodul
- LiPo-Akkumodul
- Kondensatormodul
- Stoppuhr

### Vorbereitung

Sie benötigen für den Versuch ausreichend Platz (mind. 2x2m). Kippen Sie die Vorderachse des Autos nach links, damit beim Fahren eine Kreisbahn entsteht. Markieren Sie die Start-/Ziellinie des Autos auf der Kreisbahn mit einem Klebeband oder ähnlichem. Die Akkumodule sollten ausreichend geladen sein. Das Kondensatormodul sollte direkt vor der Versuchsdurchführung mithilfe des ChargerModuls auf etwa 5V geladen werden. Hinweise dazu finden Sie in den Akku-Ladeversuchen und im Versuch „Das Ladeverhalten des Kondensators“.

### Durchführung

Führen Sie für jedes Akkumodul folgende Anweisungen aus:

1. Messen Sie zuerst die Leerlaufspannung des Akkumoduls  $U_0$  und tragen Sie Ihren Messwert in die Tabelle ein.
2. Bringen Sie das Akkumodul auf die Steckplatte des Autos auf und verbinden Sie zunächst ein Kabel.
3. Bringen Sie das Auto an die Startlinie und verbinden Sie kurz vor dem Absetzen das zweite Kabel.
4. Messen Sie die Zeit, die das Auto für 4 Umrunden benötigt und führen Sie die Messung mehrmals hintereinander durch ohne das Auto anzuhalten. Tragen Sie die Werte in die Tabelle ein.
5. Lassen Sie das Auto mind. 5 min fahren und notieren Sie ihre Beobachtung.
6. Berechnen Sie die Differenz zur vorherigen Runde, um die Zeit für 4 Runden festzustellen.

**Hinweis:** Achten Sie bei dem Versuch unbedingt darauf, dass das Auto nirgends anstößt, da die Achsen ansonsten beschädigt werden könnten. Halten Sie das Auto vor dem Losfahren einen kurzen Moment fest, da es kippen könnte.



## 7.1 Betrieb des Elektroautos mit verschiedenen Akkumodulen

## Auswertung

1. Vergleichen Sie die Akkumulatoren untereinander und begründen Sie die Unterschiede.
2. Benennen Sie Faktoren, die die Messung beeinflussen.
3. Schlussfolgern Sie, welcher Akkumulator für den Betrieb eines Elektroautos geeignet ist.
4. Erläutern Sie, weshalb der Kondensator nicht mit mehr als 5V aufgeladen werden sollte, um ein sinnvolles Ergebnis zu erhalten.

## Messwerte

	4 Runden	8 Runden	12 Runden	16 Runden	20 Runden	Beobachtung nach 5 min (bzw. Zeit nach der das Auto stoppt)
--	----------	----------	-----------	-----------	-----------	---

**Bleiakkumodul:  $U_0 =$** 

Zeit in s						
Zeit für 4 Runden						

**NiZn-Akkumodul:  $U_0 =$** 

Zeit in s						
Zeit für 4 Runden						

**NiMH-Akkumodul:  $U_0 =$** 

Zeit in s						
Zeit für 4 Runden						

**LiFePo-Akkumodul:  $U_0 =$** 

Zeit in s						
Zeit für 4 Runden						

**LiPo-Akkumodul:  $U_0 =$** 

Zeit in s						
Zeit für 4 Runden						

**Kondensatormodul:  $U_0 =$  (möglichst 5V)**

Zeit in s						
Zeit für 4 Runden						





## 7.1 Betrieb des Elektroautos mit verschiedenen Akkumodulen

### Auswertung

1.

---

---

---

---

---

---

2.

---

---

---

---

---

---

3.

---

---

---

---

4.

---

---

---

---

---

---

---

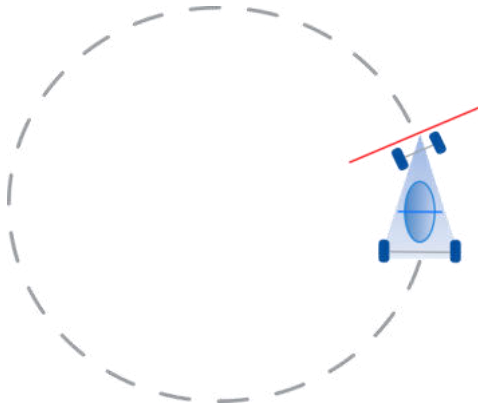
---

## 7.2 Betrieb des Elektroautos mit einer Brennstoffzelle

### Aufgabe

Beobachten Sie das Fahrverhalten des Autos mit einer Brennstoffzelle und schließen Sie auf deren Eigenschaften.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- 1 Automodul
- 1 Grundeinheit
- 1 reversible Brennstoffzelle
- 1 ChargerModul
- 1 AV-Modul
- 1 Potentiometermodul
- 2 Laborkabel

*Zusätzlich benötigt:*

- Stoppuhr

### Vorbereitung

Sie benötigen für den Versuch ausreichend Platz (mind. 2x2m). Kippen Sie die Vorderachse des Autos nach links, damit beim Fahren eine Kreisbahn entsteht. Markieren Sie die Start-/Ziellinie des Autos auf der Kreisbahn mit einem Klebeband oder ähnlichem. Produzieren Sie mit der reversiblen Brennstoffzelle 12 ml Wasserstoff (siehe Experiment „Wasserstoffproduktion mit der reversiblen Brennstoffzelle“).

### Durchführung

1. Messen Sie die Leerlaufspannung der Brennstoffzelle  $U_0$  nach der Produktion von 12ml Wasserstoff und tragen Sie den Wert in die Tabelle ein. Das AV-Modul wird dazu im Spannungsmodus betrieben.
2. Setzen Sie die Brennstoffzelle auf das Auto und verbinden Sie zunächst ein Kabel.
3. Bringen Sie das Auto an die Startlinie und verbinden Sie kurz vor dem Absetzen das zweite Kabel.
4. Messen Sie die Zeit, die das Auto für 4 Umrunden benötigt und führen Sie die Messung mehrmals hintereinander durch, ohne das Auto anzuhalten. Tragen Sie die Werte in die Tabelle ein.
5. Lassen Sie das Auto mind. 5 min fahren und notieren Sie ihre Beobachtung.
6. Berechnen Sie die Differenz zur vorherigen Runde um die Zeit für 4 Runden festzustellen.

**Hinweis:** Achten Sie bei dem Versuch unbedingt darauf, dass das Auto nirgends anstößt, da die Achsen ansonsten beschädigt werden könnten. Halten Sie das Auto vor dem Losfahren einen kurzen Moment fest, da es kippen könnte.



## 7.2 Betrieb des Elektroautos mit einer Brennstoffzelle

### Auswertung

1. Vergleichen Sie den Betrieb des Autos mit der Brennstoffzelle mit herkömmlichen Akkumulatoren wie im vorherigen Experiment.
2. Informieren Sie sich über den Gebrauch von Brennstoffzellen in der Automobilbranche. Gehen Sie dabei auch auf die Speicherung von Wasserstoff ein.

### Messwerte

	4 Runden	8 Runden	12 Runden	16 Runden	20 Runden	Beobachtung nach 5 min (Zeit nach der das Auto stoppt)
--	----------	----------	-----------	-----------	-----------	--

**Brennstoffzelle:  $U_0 =$**

Zeit in s						
Zeit für 4 Runden						

### Auswertung

1.

---

---

---

---

---

---

---

---

2.

---

---

---

---

---

---

---

---

leXsolar GmbH  
Strehleener Straße 12-14  
01069 Dresden / Germany

Telefon: +49 (0) 351 - 47 96 56 0  
Fax: +49 (0) 351 - 47 96 56 - 111  
E-Mail: [info@lexsolar.de](mailto:info@lexsolar.de)  
Web: [www.lexsolar.de](http://www.lexsolar.de)