leXsolar Ready-to-go
Speichertechnologie

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 49

4.1 U-I-Kennlinie des einfachen NiMH-Akkumoduls 53

4.2 U-I-Kennlinie des NiZn-Akkumoduls 56

4.3 U-I-Kennlinie des LiFePo-Akkumoduls 59

4.4 U-I-Kennlinie des Blei-Akkumoduls 62

4.5 U-I-Kennlinie des Lithium-Polymer-Akkumoduls 65

4.6 U-I-Kennlinie des dreifachen NiMH-Akkumoduls 68

5.1 Das Ladeverfahren des NiMH-Akkus 71

5.2 Das Ladeverfahren des NiZn-Akkus 74

5.3 Das Ladeverfahren des LiFePo-Akkus 77

5.4 Das Ladeverfahren des Blei-Akkus 80

5.5 Das Ladeverfahren des LiPo-Akkus 83

5.6 Das Entladeverfahren eines Akkumoduls 86

6.1 Die Wasserstoffproduktion der reversiblen Brennstoffzelle 88

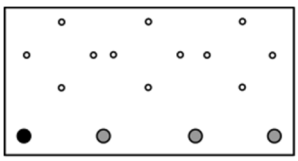
6.2 Die Kennlinie des Elektrolyseurs 91

6.3 Der Wasserstoffverbrauch einer Brennstoffzelle 93
6.4 Die Kennlinie der Brennstoffzelle 95
6.5 Der Wirkungsgrad der Brennstoffzelle 98
7.1 Betrieb des Elektroautos mit verschiedenen Akkumodulen 100
7.2 Betrieb des Elektroautos mit einer Brennstoffzelle 103

Bezeichnung und Handhabung der Experimentiergeräte

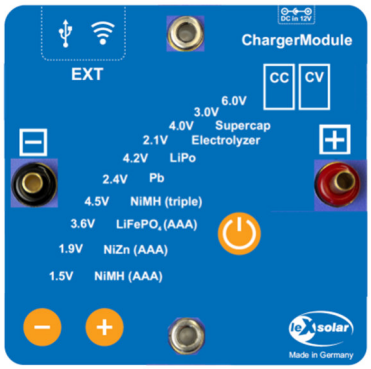
In der folgenden Auflistung werden alle im leXsolar-EMobility Ready-to-go enthaltenen Einzelteile aufgeführt. Zu jeder Komponente finden Sie die Bezeichnung mit Artikelnummer, eine Abbildung, das Piktogramm in den Versuchsaufbauten und Hinweise zur Bedienung. Mit Hilfe der Artikelnummer können Sie jedes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

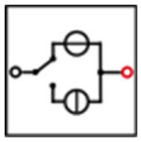
leXsolar Grundeinheit EMobility 1801-07



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 (**C**onstant **C**urrent, konstanter Strom) und einem CV-Ladeverfahren (**C**onstant **V**oltage, 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 10Ω 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 mA) OHNE CV-Verfahren
- Obere Grenze für Spannung: 1,6V
- Untere Grenze für Spannung: 1V

NiZn (AAA):
- Zunächst CC-Ladeverfahren (I=250mA) bis zu einer Umschaltspannung U=1,8V
- 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=200mA) bis zu einer Umschaltspannung U=3,6V
- 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 mA) OHNE CV-Verfahren
- Obere Grenze für Spannung: 4,8V
- Untere Grenze für Spannung: 3V

Pb:
- Zunächst CC-Ladeverfahren (I=500mA) bis zu einer Umschaltspannung U=2,35V
- 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=500mA) bis zu einer Umschaltspannung U=4,1V
- Anschließend CV-Ladeverfahren bis zu einem Abschaltstrom von 200mA
- Obere Grenze für Spannung: 4,3V
- Untere Grenze für Spannung: 3V

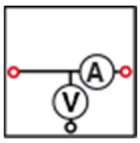
Electrolyzer:
- Nur CV-Ladeverfahren (U=2,1V)

Supercap:
- Nur CV-Ladeverfahren mit 4V bis zum Abschaltstrom von 50mA
- Strombegrenzung 2A
- Unabhängig von Strom Abschalten nach t = 10 min

3V:
- Konstante Festspannung von 3V

6V:
- Konstante Festspannung von 6V

AV-Modul 9100-03

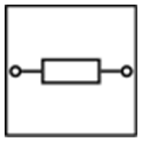


Das AV-Modul ist ein kombiniertes Spannungs- und Strommessgerät. Es besitzt 3 Tasten, deren Funktionen jeweils im Display angezeigt werden. Durch das Drücken einer beliebigen Taste wird das Modul eingeschaltet. Im ausgeschalteten Zustand ist im Display das leXsolar-Logo zu sehen. Wenn das Display nichts 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.

<u>Technische Daten:</u>
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)

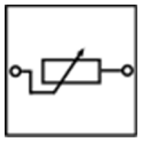
Widerstandsmodul, 3-fach 1800-01 mit Widerstandssteckelementen



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

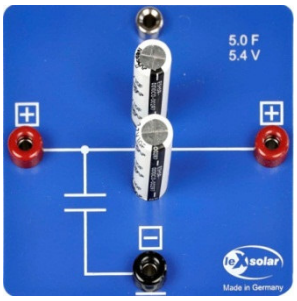
1 x R=1Ω	1800-03
2 x R=10Ω	1800-05
1 x R=100Ω	1800-04

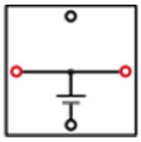
Potentiometermodul 1118-04



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

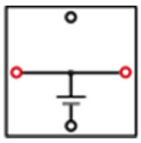




Das Kondensatormodul besteht aus zwei in Reihe geschalteten Kondensatoren. Die maximale Spannung des Kondensatormoduls beträgt 5,4 V. Zum Aufladen sollte keine höhere Spannung als 5V angelegt werden. Zum Entladen kann der Kondensator kurzgeschlossen werden, da Sicherungen im Modul eine zu hohe Stromstärke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

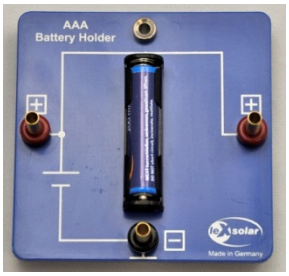
Technische Daten:
Kapazität: 5 F
Spannung: 5,4 V

Blei-Akkumodul 1800-13



Technische Daten:
U=1,9V…2,15V
Entladeschlussspannung: 1,9V
Max. Ladespannung 2,35V

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



Technische Daten:
U= 3,2V… 3,4V
Entladeschlussspannung: 2,8 V
Max. Ladespannung: 3,6 V

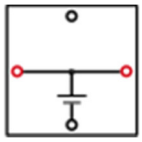
Lithium-Polymer (LiPo)-Akkumodul 1800-07

Technische Daten:
U=3V…4,2V
Entladeschlussspannung: 3V
Max. Ladespannung: 4,2V

NiMH-Akkumodul, einfach

Technische Daten:
U=1,0V..1,35V
Entladeschlussspannung: 1V
Max. Ladespannung: 1,6V

NiMH-Akkumodul, dreifach 1118-09

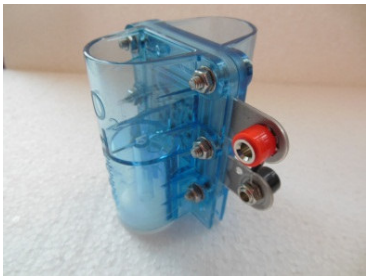


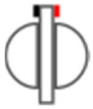
Technische Daten:
U=3V…4,05V
Entladeschlussspannung: 3V
Max. Ladespannung: 4,8V

NiZn-Akkumodul L2-04-102

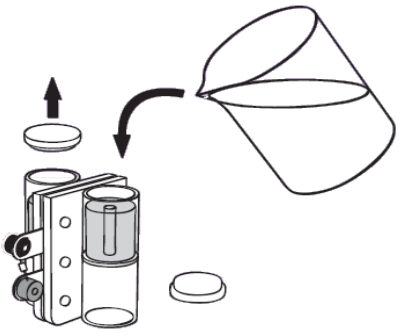
Technische Daten:
U=1,3V…1,8V
Entladeschlussspannung: 1,3V
Max. Ladespannung: 1,9V

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





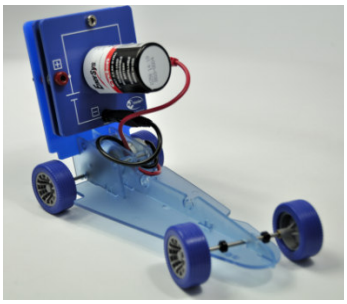
Die reversible Brennstoffzelle besteht aus einem Elektrolyseur und einer Brennstoffzelle. Zum Befüllen der reversiblen Brennstoffzelle sollte folgendermaßen vorgegangen werden:



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

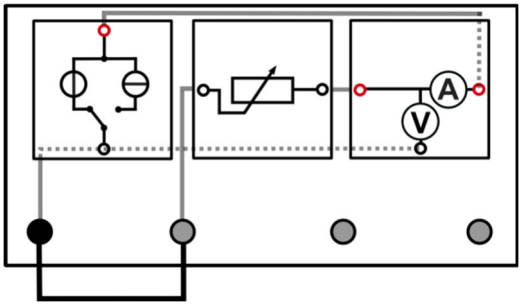
• Akkus und Ladegeräte sind kein Spielzeug! Lassen Sie Akkus daher nicht offen herumliegen, es besteht die Gefahr, dass Teile der Akkus verschluckt werden. In diesem Fall muss sofort ein Arzt aufgesucht werden.
• Akkus dürfen **niemals** kurzgeschlossen, zerlegt oder ins Feuer geworfen werden aufgrund 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 (Ω)	100	80	60	40	20
U (V)					
I (mA)					
U/I (Ω)					

Auswertung

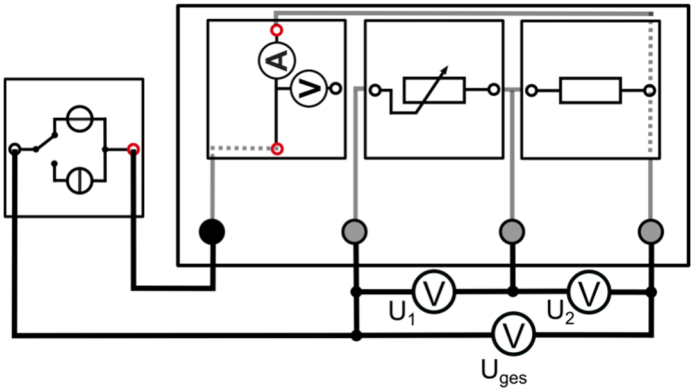
1. Benennen Sie den Zusammenhang zwischen dem Widerstand R und dem Quotienten U/I. Leiten Sie hieraus eine Gesetzmäßigkeit ab.

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=100Ω)
- 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}=100Ω ein und verwenden Sie das Widerstandssteckelement von R_S=100Ω 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° 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 (Ω)	100	80	60	40	20
U_1 (V)					
U_2 (V)					
U_{ges} (V)					
I (mA)					
$R_{ges}=U_{ges}/I$ (Ω)					

1.2 Reihenschaltung von ohmschen Widerständen

Auswertung

1. Berechnen Sie jeweils den Quotienten $R_{ges}=U_{ges}/I$ 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_{ges}).
3. Erläutern Sie den Einfluss, den die Widerstände auf die Stromstärke I und die Spannungen U_1, U_2 und U_{ges} haben.
4. Erläutern Sie den Zusammenhang zwischen dem Gesamtwiderstand R_{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_{ges}
R_{Pot} = 100Ω / R_S =100Ω		
R_{Pot} = 80Ω / R_S =100Ω		
R_{Pot} = 60Ω / R_S =100Ω		
R_{Pot} = 40Ω / R_S =100Ω		
R_{Pot} = 20Ω / R_S =100Ω		

2.

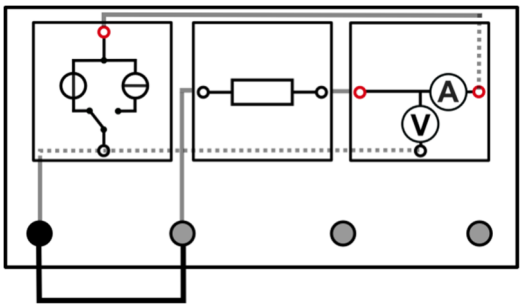
3.

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_1=10Ω / R_2=10Ω
   - R_1=10Ω / R_2=100Ω
   - R_1=10Ω / R_2=10Ω / R_3=100Ω
4. Notieren Sie ihre Messwerte in einer Tabelle.

Messwerte

	R_1=10Ω	R_1=10Ω / R_2=10Ω	R_1=10Ω / R_2=100Ω	R_1=10Ω / R_2=10Ω / R_3=100 Ω
U (V)				
I (mA)				
R_{ges}=U/I (Ω)				

Auswertung

1. Berechnen Sie den Quotienten R_{ges}=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.

_____

_____

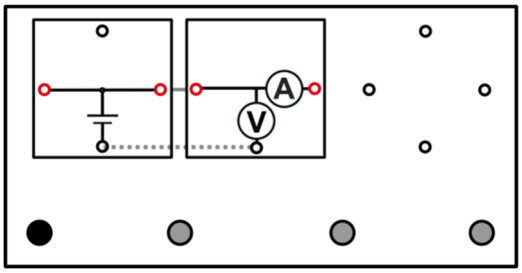
_____

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:

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

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		

2.1 Die Nennspannung und Kapazität von Spannungsquellen

Auswertung

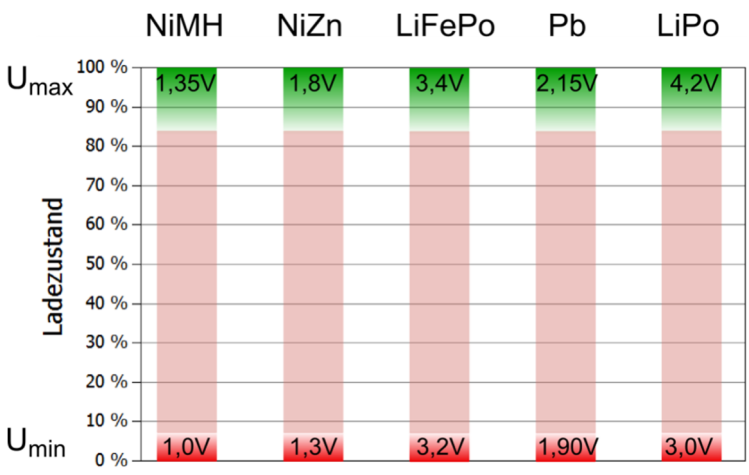


Diagramm 2.1: Ladezustandsbestimmung von Akkumodulen

Zellentyp	Kapazität
NiMH-Akku	600mAh
NiZn-Akku	550mAh
LifePo-Akku	200mAh
Blei-Akku	2500mAh
LiPo-Akkumodul	980mAh

Tabelle 2.1: Maximale Kapazität der Akku-Module

2.

2.1 Die Nennspannung und Kapazität von Spannungsquellen

Auswertung

2.

3. Zur Berechnung der benötigten Kapazität wird folgendes Vorgehen empfohlen:

- *Zuerst wird der benötigte Gesamtleistungsbedarf in Wh ermittelt.*
- *Zu diesem Bedarf addieren Sie eine Kapazitätsreserve von 30%.*
- *Dieser Wert wird anschließend durch die Batteriespannung dividiert. Das Ergebnis gibt die Batteriekapazität in Ah an.*
- *Um eine Tiefenentladung zu vermeiden, sollte die Batterie nur um 50% entladen werden, weshalb die ermittelte Kapazität mit dem Sicherheitsfaktor 2 multipliziert werden sollte.*

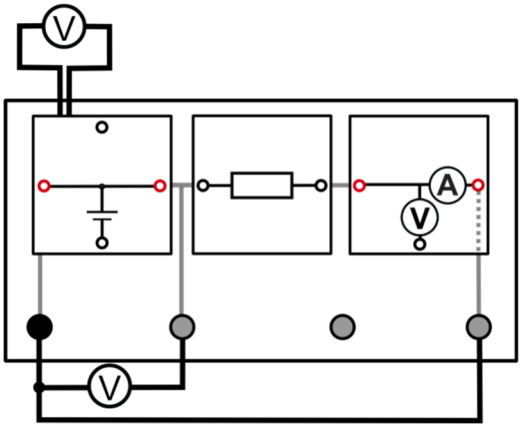
4.

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				

2.2 Die Vier-Punkt-Messung

Auswertung

1. Ermitteln Sie den integrierten PTC-Widerstandswert R_{PTC} der Akkumodule und tragen Sie diesen in die Tabelle ein.

Hinweis: Der PTC-Widerstand der Zellen wird mithilfe folgender Formel berechnet:

$$R_{PTC} = \frac{U_2 - U_1}{I_{Last}}$$

2. Erläutern Sie, weshalb sich die beiden Spannungswerte U_1 und U_2 beim Messen unter Last unterscheiden.

1.

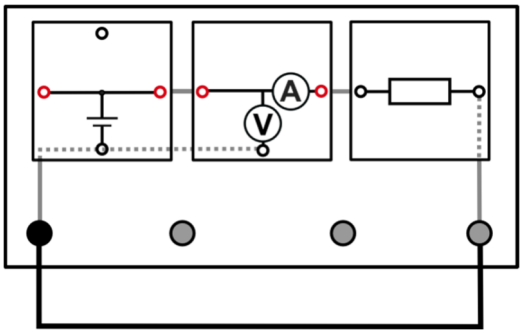
2.

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_{Last} und den Strom I_{Last}. Das AV-Modul wird zum Messen dieser Werte im Strom-Spannungs-Modus betrieben.

Hinweis: Für die Innenwiderstandbestimmung müssen noch die Kontaktwiderstände $R_ü$ 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:

$$R_i = \frac{U_0 - U_{Last}}{I_{Last}} - R_ü$$

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 = 12V und einen Innenwiderstand R_i = 20 mΩ. Es wird ein externer Starter mit 60 mΩ Widerstand angelassen.
   a) Berechnen Sie die Stromstärke beim Startvorgang.
   b) Berechnen Sie den Spannungsfall an den Klemmen beim Starten.

2.3 Der Innenwiderstand von Spannungsquellen

Messwerte

	U_0 in V	U_{Last} in V	I_{Last} in mA	R_i in mΩ	$R_{ü}$ in mΩ
NiMH-Akkumodul, einfach					50
NiZn- Akkumodul					50
LiFePo- Akkumodul					50
Blei-Akkumodul					5
Lithium-Polymer-Akkumodul					50
NiMH-Akkumodul, dreifach					220

Auswertung

1.

2.

2.3 Der Innenwiderstand von Spannungsquellen

Auswertung

3.

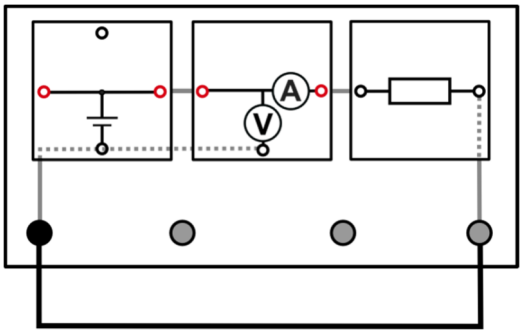
4.

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_{Last} und den Strom I_{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_{Last} in V	I_{Last} in mA
1. Zelle ($R_ü$= 50 mΩ)			
2. Zelle ($R_ü$= 50 mΩ)			
3. Zelle ($R_ü$= 50 mΩ)			

Mehrfachzelle:

	U_0 in V	U_{Last} in V	I_{Last} in mA
Mehrfachzelle ($R_ü$= 220 mΩ)			

Auswertung

1. Berechnen Sie für alle Einzelzellen, sowie für die Mehrfachzelle den Innenwiderstand R_i. Berechnen Sie anschließend die Summe der Innenwiderstände der Einzelzelle und vergleichen Sie diese mit dem Innenwiderstand der Mehrfachzelle. Der Innenwiderstand der Zellen wird mithilfe folgender Formel berechnet:

$$R_i = \frac{U_0 - U_{Last}}{I_{Last}} - R_ü$$

Hinweis: Trotz aufwendiger Vierpunktmessung müssen für die Innenwiderstandbestimmung noch die Kontaktwiderstände $R_ü$ von dem errechneten Wert abgezogen werden. Die Kontaktwiderstände sind in der Tabelle (siehe Messwerte) mit angegeben.

2. Erläutern Sie, weshalb es besser ist, eine einzelne Zelle mit der gleichen Zellspannung einer Mehrfachzelle zu wählen, als eine vergleichbare Zelle mit mehreren Zellen in Reihe? Erklären Sie die unterschiedlichen Widerstandswerte.

1.

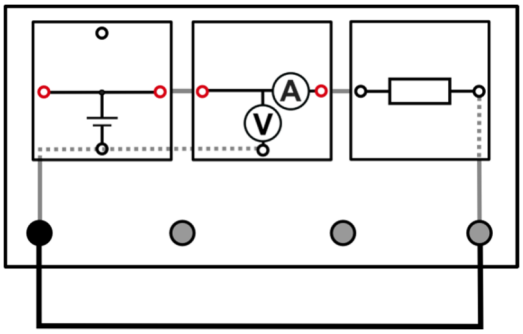
2.

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

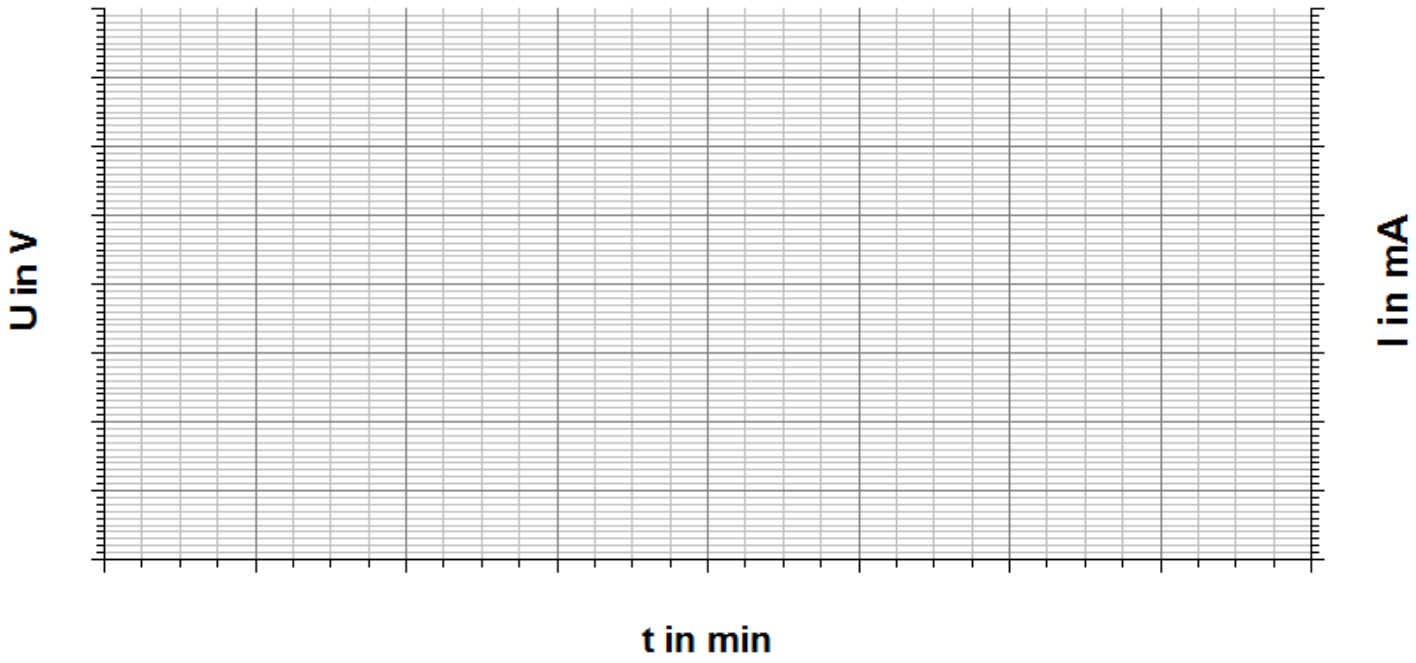
Auswertung

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



2.5 Die Speicherkapazität eines Akku-Moduls

Auswertung

2.

3.

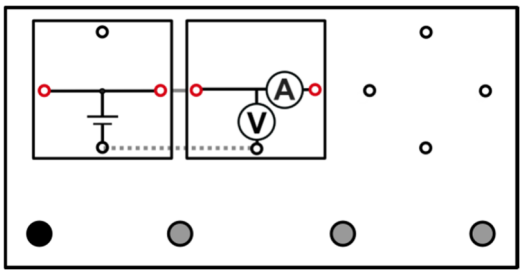
4.

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:

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

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 ω 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

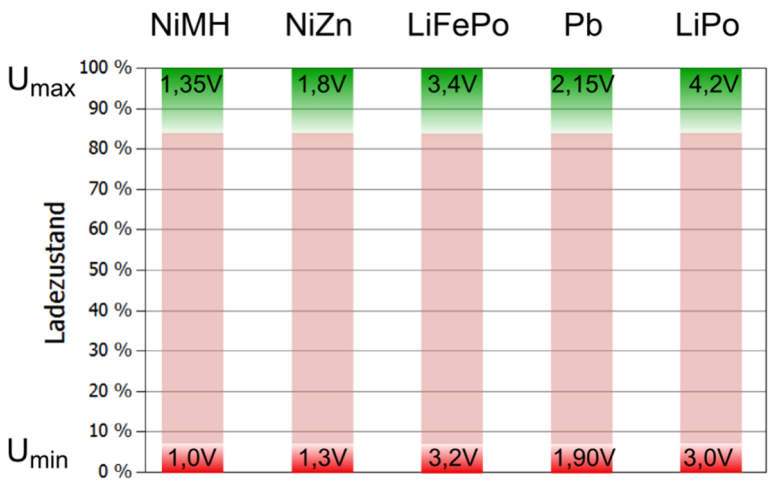


Diagramm 2.6: Ladezustandsbestimmung von Akkumodulen

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

2.6 Der Energiegehalt verschiedener Akkumodule

Auswertung

2.

3.

2.6 Der Energiegehalt verschiedener Akkumodule

Auswertung

3.

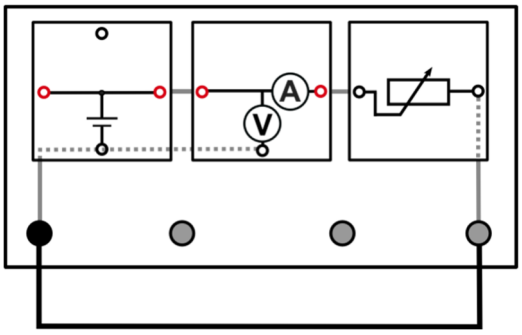
5.

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_{Last} und den Strom I_{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 η des Akkumoduls und tragen Sie den Wert in die Tabelle ein. Der R_i-Wirkungsgrad η wird mithilfe folgender Formel berechnet:

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

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

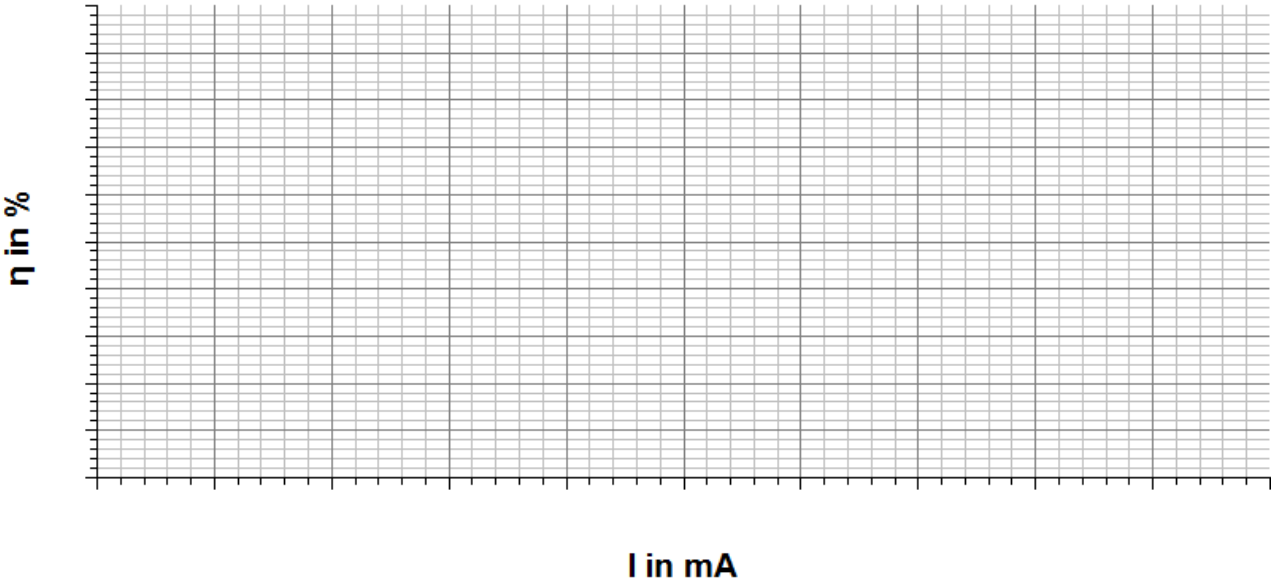
2.7 Der R_i-Wirkungsgrad eines Akkumoduls

Messwerte

U_0=_____

R_{Pot} in Ω									
U_{Last} in V									
I_{Last} in mA									
η in %									

Diagramm



Auswertung

1.

2.7 Der R_i-Wirkungsgrad eines Akkumoduls

Auswertung

3.

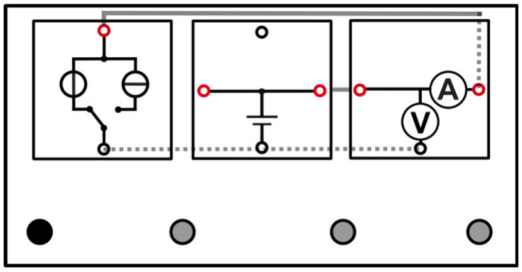
2.8 Der Gesamtwirkungsgrad einer Batterie

Aufgabe

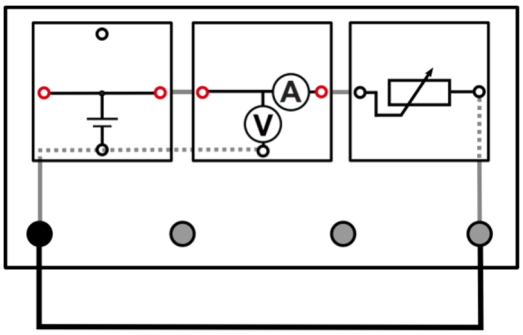
Ermitteln Sie den Gesamtwirkungsgrad einer Batterie.

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) = _____

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) = _____

Teilexperiment 2: Entladen des Akkumoduls

U_0 (1) = _____

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

1. Berechnen Sie für jeden Zeitpunkt die Energie W, welche für das Laden und Entladen der Batterie aufgewendet, beziehungsweise verbraucht wird und tragen Sie ihre Werte in die Tabelle ein (Einheiten beachten!).

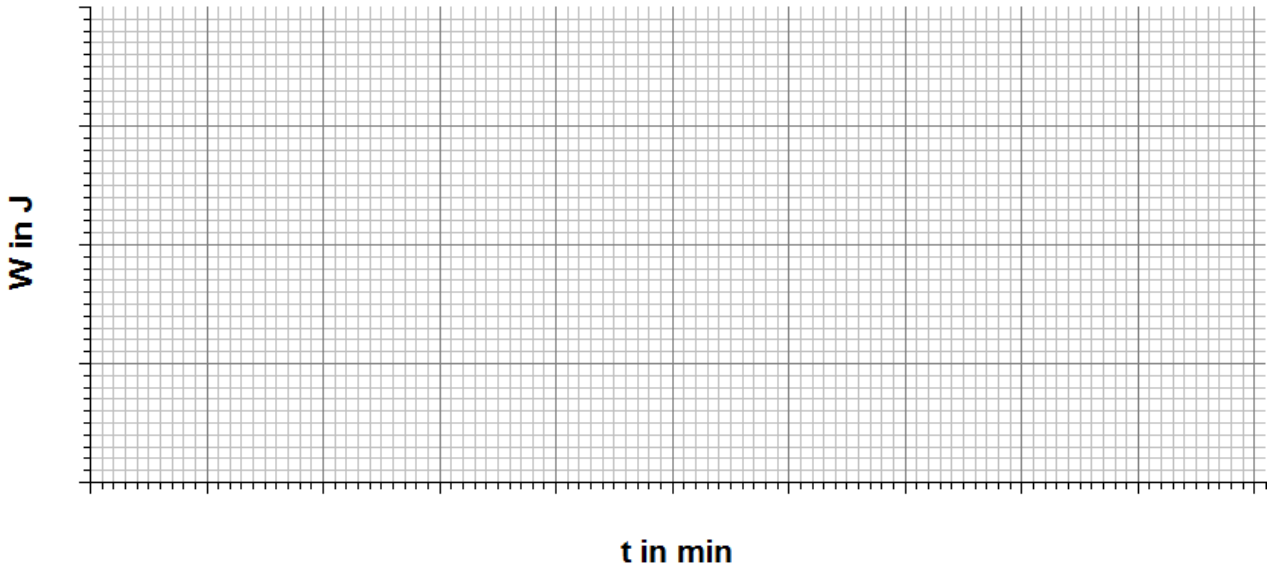
$$W = U \cdot I \cdot t$$

2. Tragen Sie ihre Werte in das Diagramm ein.
3. Bestimmen Sie die elektrische Energie W_1, die während des ersten Teilversuchs für das Laden der Batterie benötigt wurde (t=10min). Bestimmen Sie außerdem die elektrische Energie W_2, die während des zweiten Teilversuchs von der Batterie abgegeben wurde (t=10min). Berechnen Sie den Gesamtwirkungsgrad der Batterie.

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

4. Erklären Sie, wodurch der Wirkungsgrad von Akku-Modulen hauptsächlich beeinflusst wird.
5. Beschreiben und erklären Sie den sogenannten *Peukert-Effekt.*

Diagramme



Auswertung

1.

2.8 Der Gesamtwirkungsgrad einer Batterie

Auswertung

3.

4.

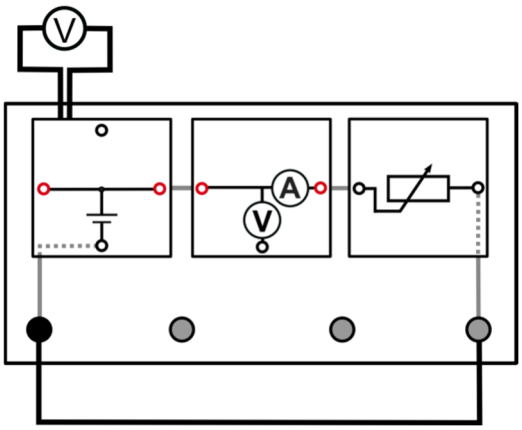
5.

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 5Ω 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 3Ω. Das LiPo-Modul sollte vor dem zweiten Teilexperiment 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} =5Ω

t in min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I in mA											
R_{NTC} in kΩ											
T in °C											
W in kJ											

2.9 Temperaturverhalten der Lithium-Polymerzelle

Messwerte

2. Messreihe: R_{Last} =3Ω

t in min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I in mA											
R_{NTC} in kΩ											
T in °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:

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

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

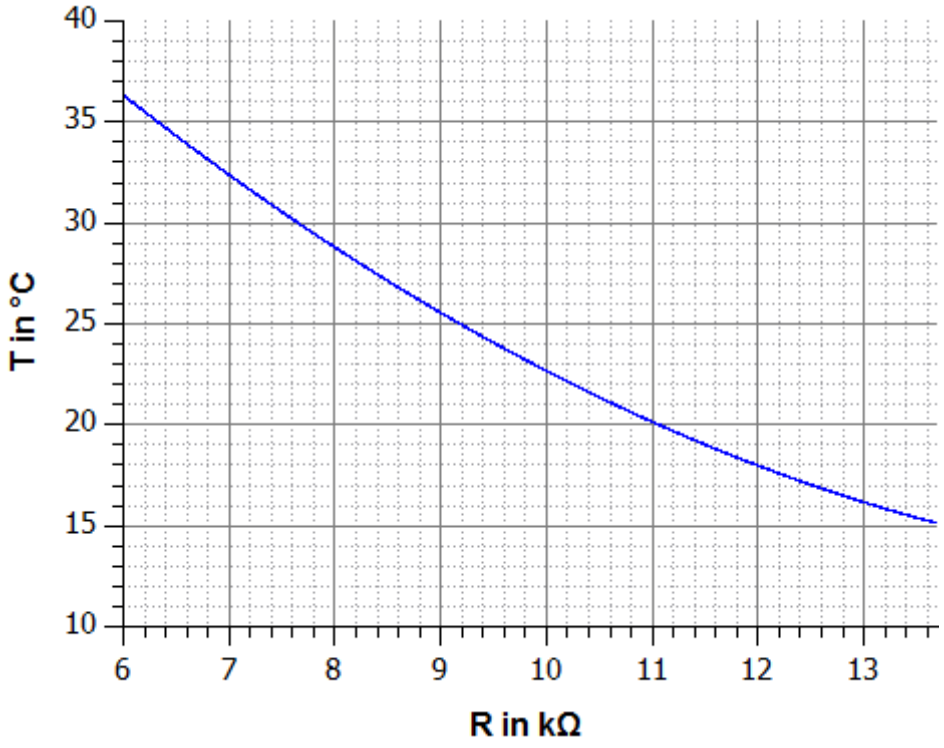
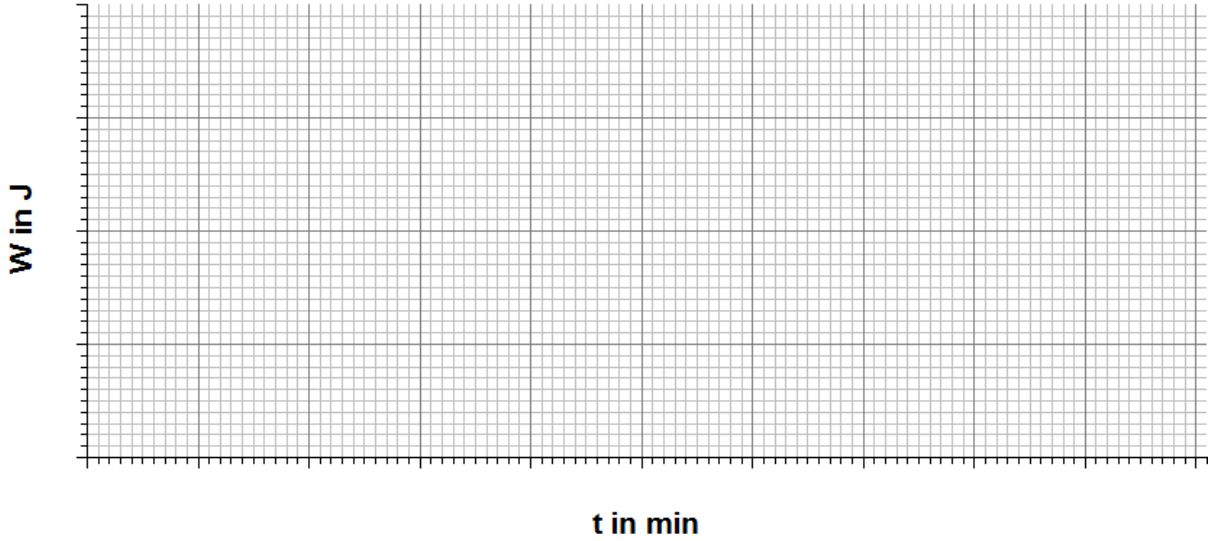


Abb.2.9: *Temperatur in Abhängigkeit von NTC-Widerstandswert*

2.9 Temperaturverhalten der Lithium-Polymerzelle

Diagramme



Auswertung

2.

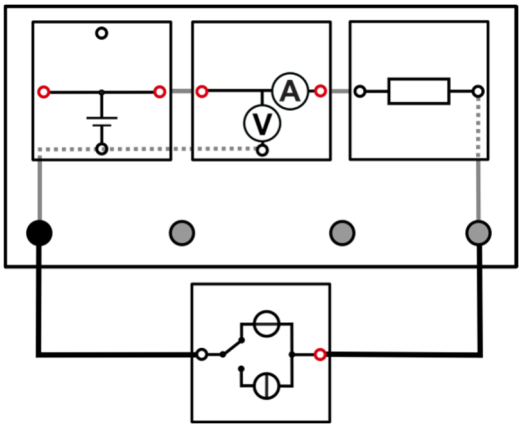
4.

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 Ω)
- 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=10Ω ein und messen Sie anschließend 90s lang (beziehungsweise bis zum Erreichen des Abbruchstroms) die Spannung U_{Last} und den Strom I_{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=5Ω (realisiert durch Parallelschaltung von 2x10Ω).

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= 10Ω:

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

R_1= 5Ω:

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

Messwerte: Variante 2

R_1= 10Ω:

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

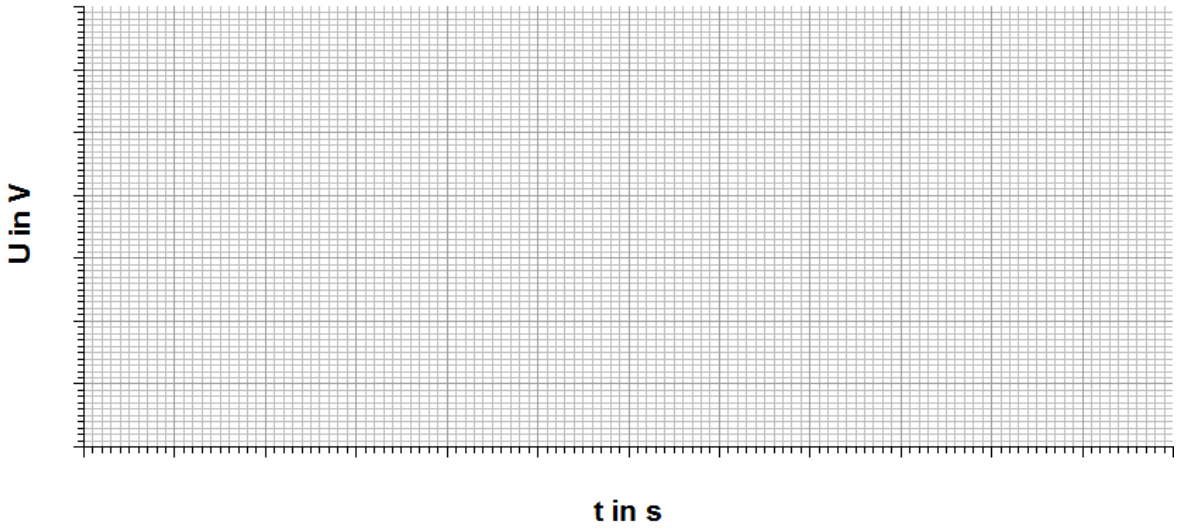
R_1= 5Ω:

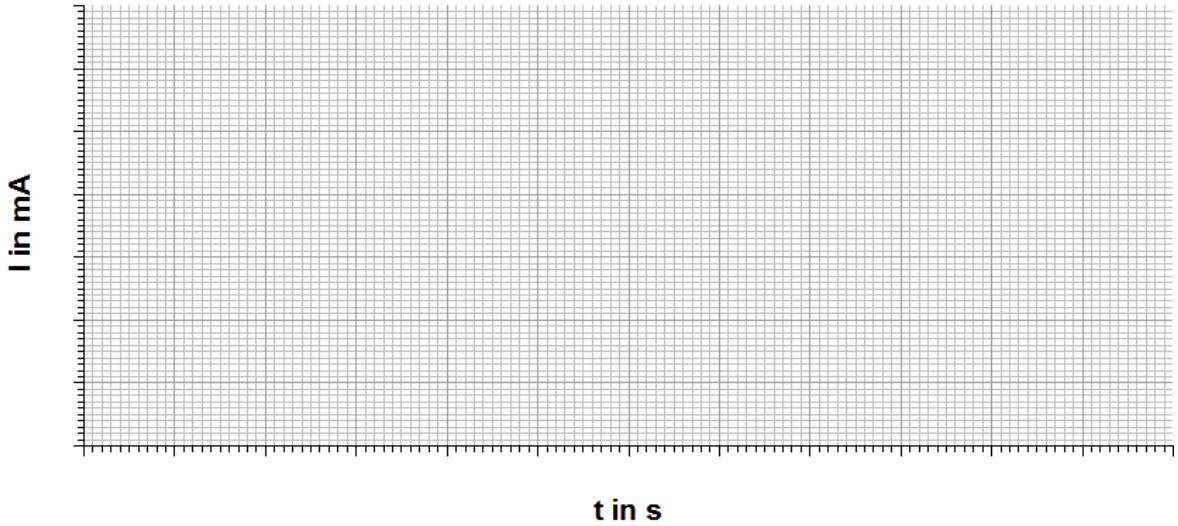
t in s	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
U_{Last} in V													
I_{Last} in mA													

3.1 Das Ladeverhalten des Kondensators

Diagramme

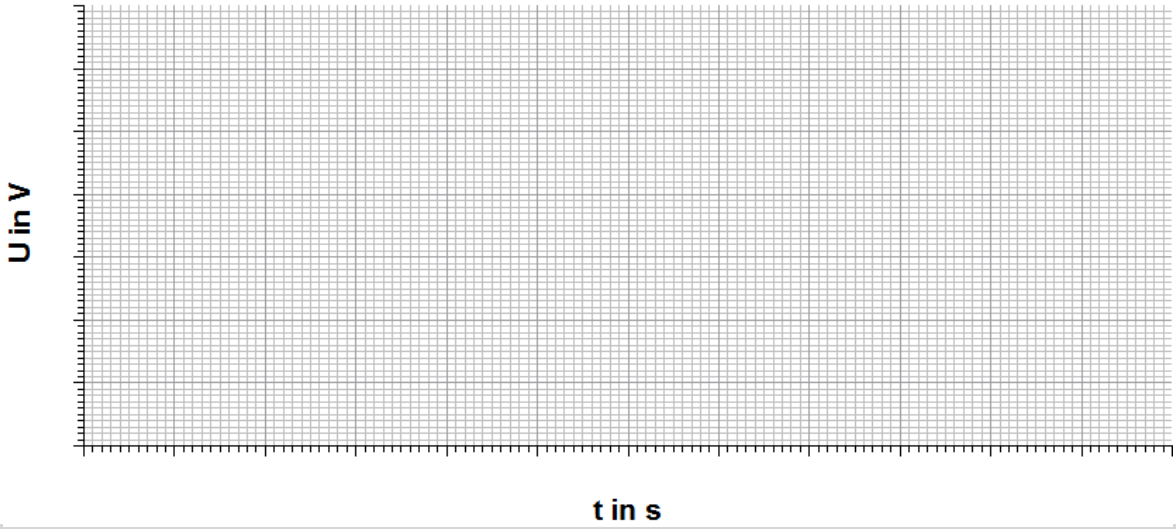
Variante 1: Laden im Supercap-Modus



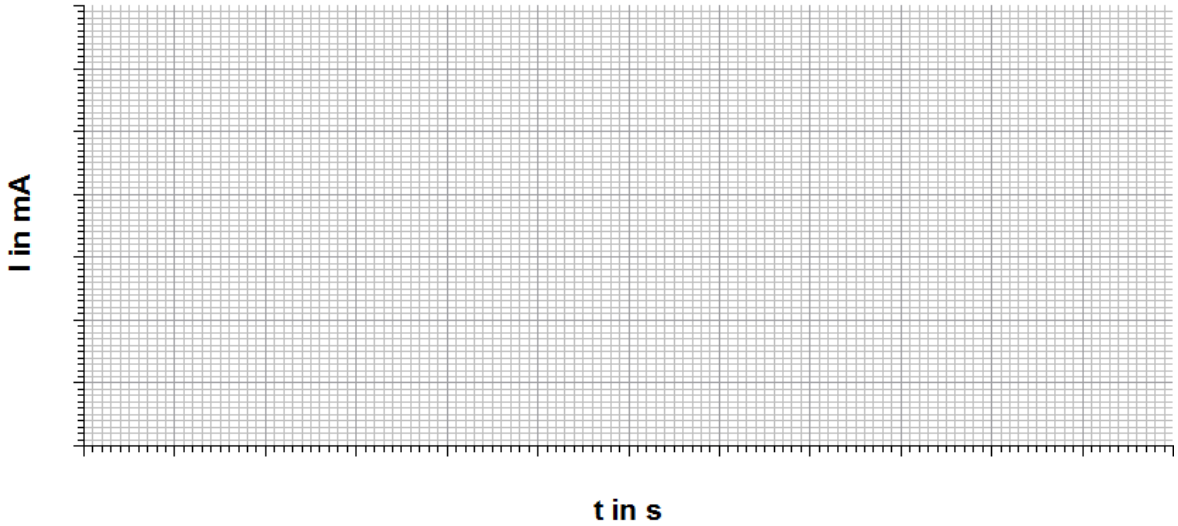


Variante 2: Laden im Festspannungs-Modus

3.1 Das Ladeverhalten des Kondensators



Diagramme



Auswertung

2.

3.

R=10 Ω: _____

R=5 Ω: _____

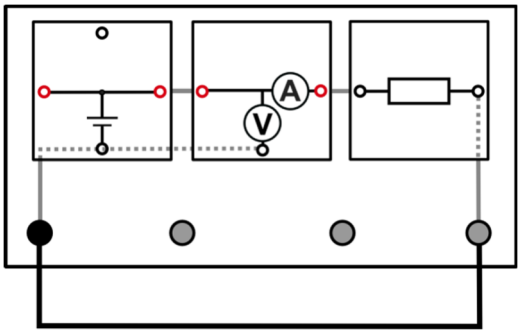
4.

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=10Ω)
- 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=10Ω ein und messen Sie anschließend 90s lang die Spannung U_{Last} und den Strom I_{Last} im Abstand von 10s. Das AV-Modul wird im Strom-Spannungs-Modus betrieben.
4. Wiederholen Sie den Versuch für einen Widerstand von R=5Ω (realisiert durch Parallelschaltung von 2x10Ω).

   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=10Ω (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

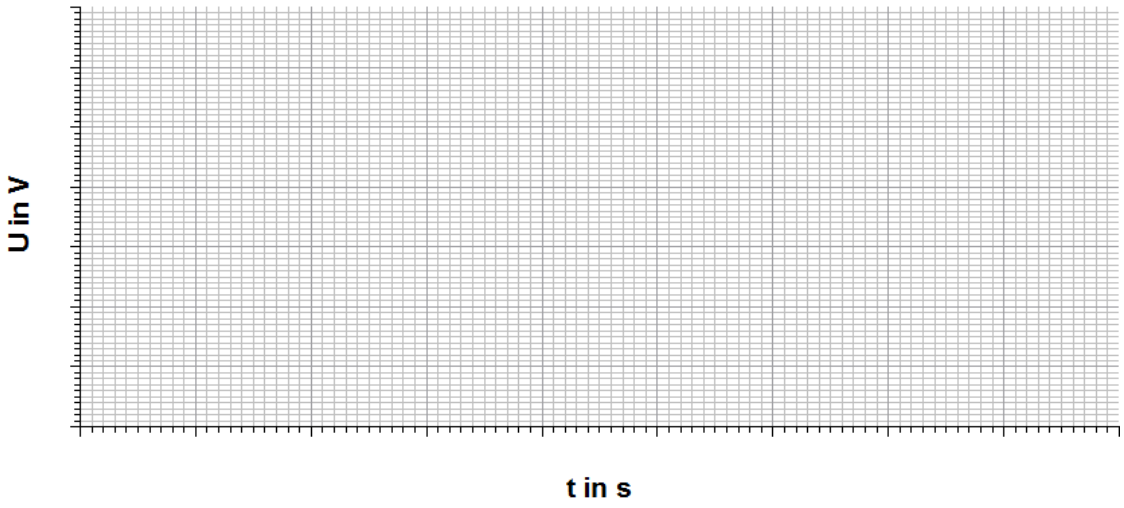
R_1= 10Ω:

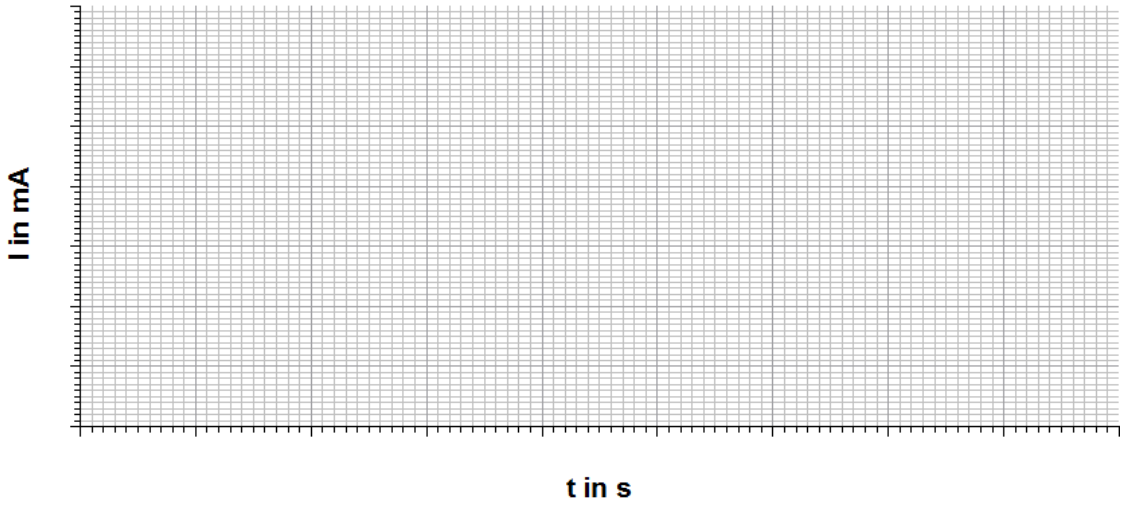
t in s	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
U in V										
I in mA										

R_2= 5Ω:

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

Diagramme




I in mA
t in s

3.2 Das Entladeverhalten des Kondensators

Auswertung

2.

3.

4.

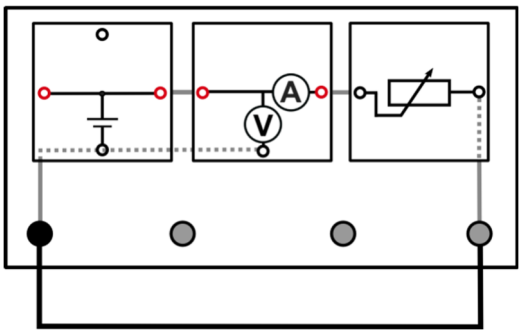
5.

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 50Ω 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 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 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.

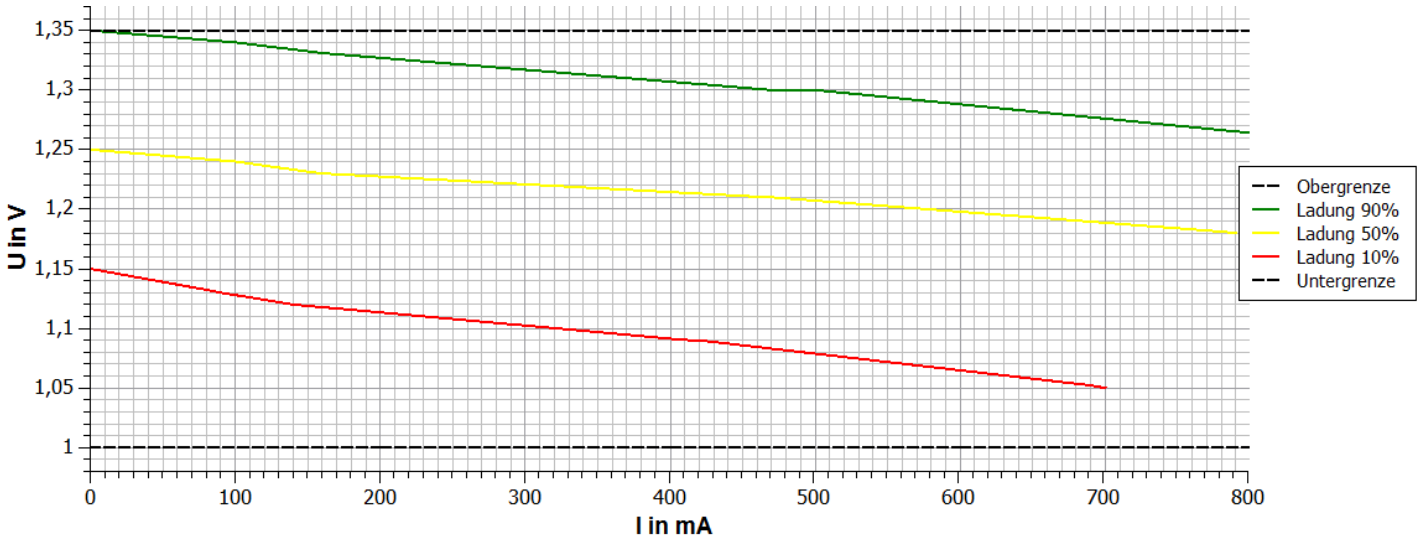
4.1 U-I-Kennlinie des einfachen NiMH-Akkumoduls

Messwerte

U_0=_____

R_{Pot} in Ω												
U_{Last} in V												
I_{Last} in mA												

Diagramme



Auswertung

2.

4.1 U-I-Kennlinie des einfachen NiMH-Akkumoduls

Auswertung

3.

4.

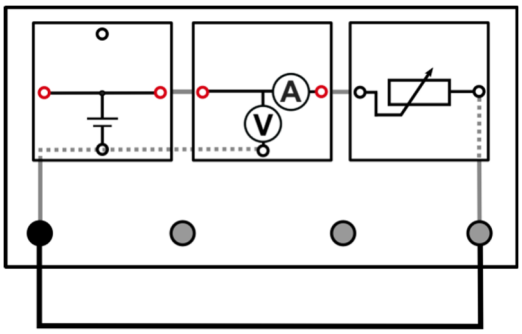
5.

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 60Ω 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 Automobil-branche.

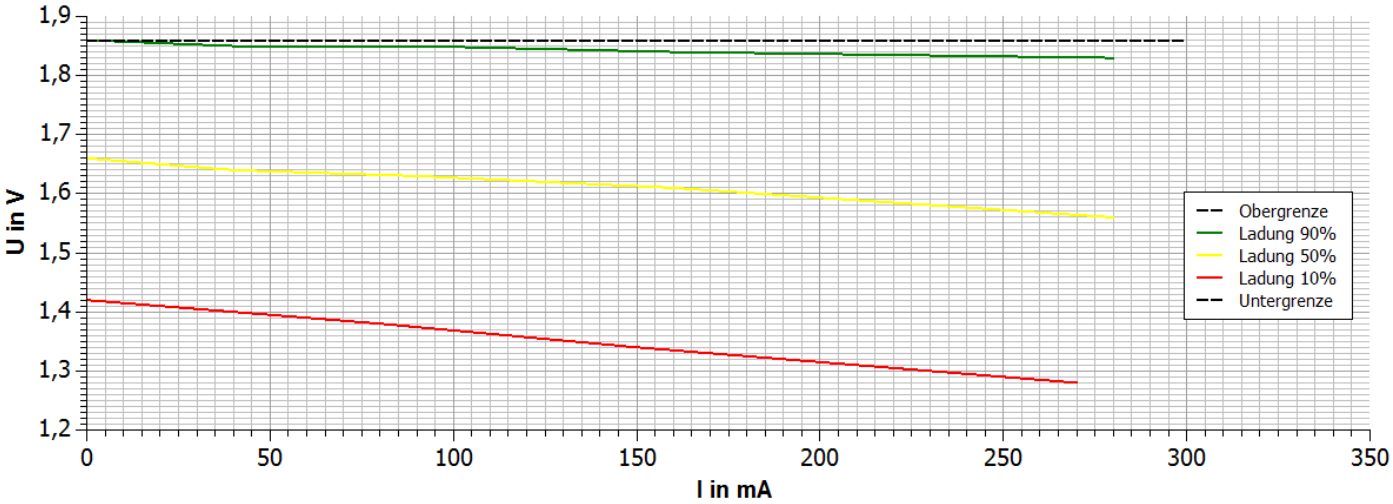
4.2 U-I-Kennlinie des NiZn-Akkumoduls

Messwerte

U_0= _____

R_{Pot} in Ω									
U_{Last} in V									
I_{Last} in mA									

Diagramme



Auswertung

2.

4.2 U-I-Kennlinie des NiZn-Akkumoduls

Auswertung

2.

3.

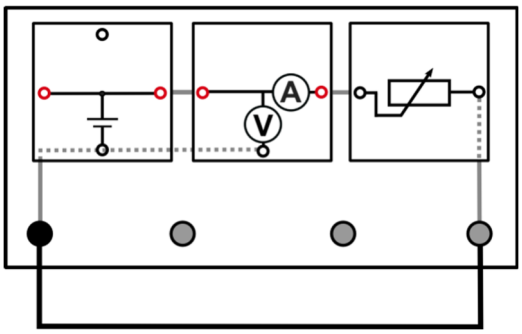
4.

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 100Ω 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.

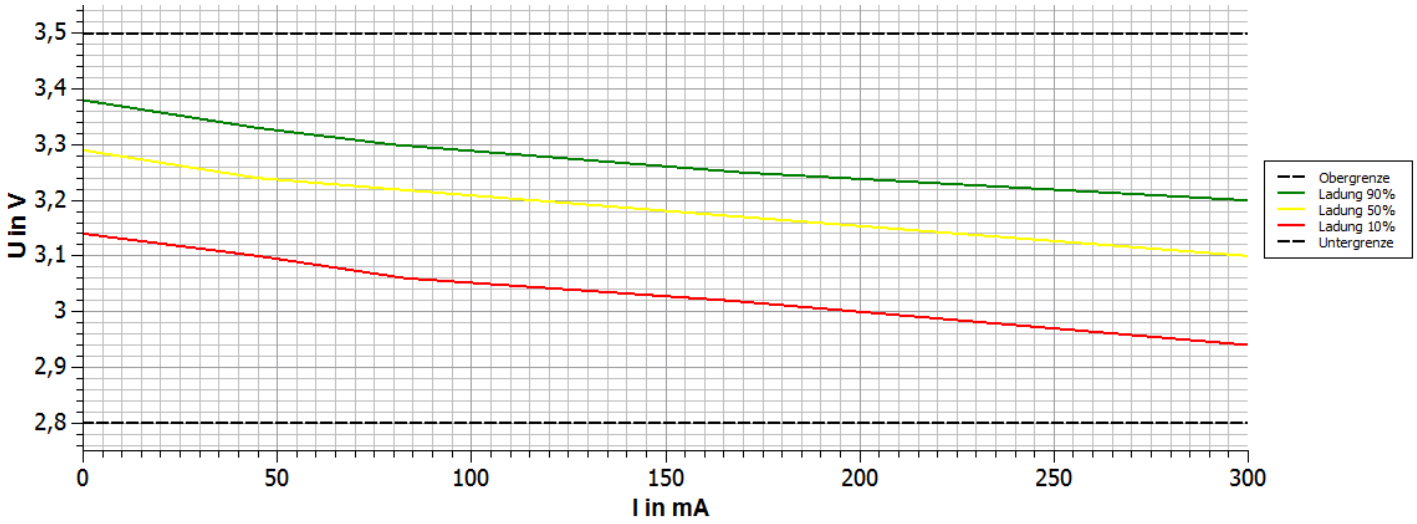
4.3 U-I-Kennlinie des LiFePo-Akkumoduls

Messwerte

U_0= _____

R_{Pot} in Ω									
U_{Last} in V									
I_{Last} in mA									

Diagramme



Auswertung

2.

4.3 U-I-Kennlinie des LiFePo-Akkumoduls

Auswertung

3.

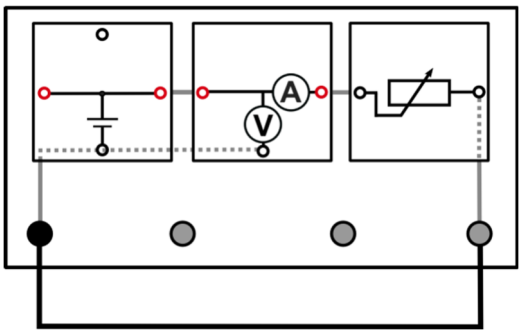
4.

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 60Ω 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 hochprös ausgeführt sind.
5. Nennen Sie Faktoren, die zum Alterungsprozess von Blei-Akkus beitragen.

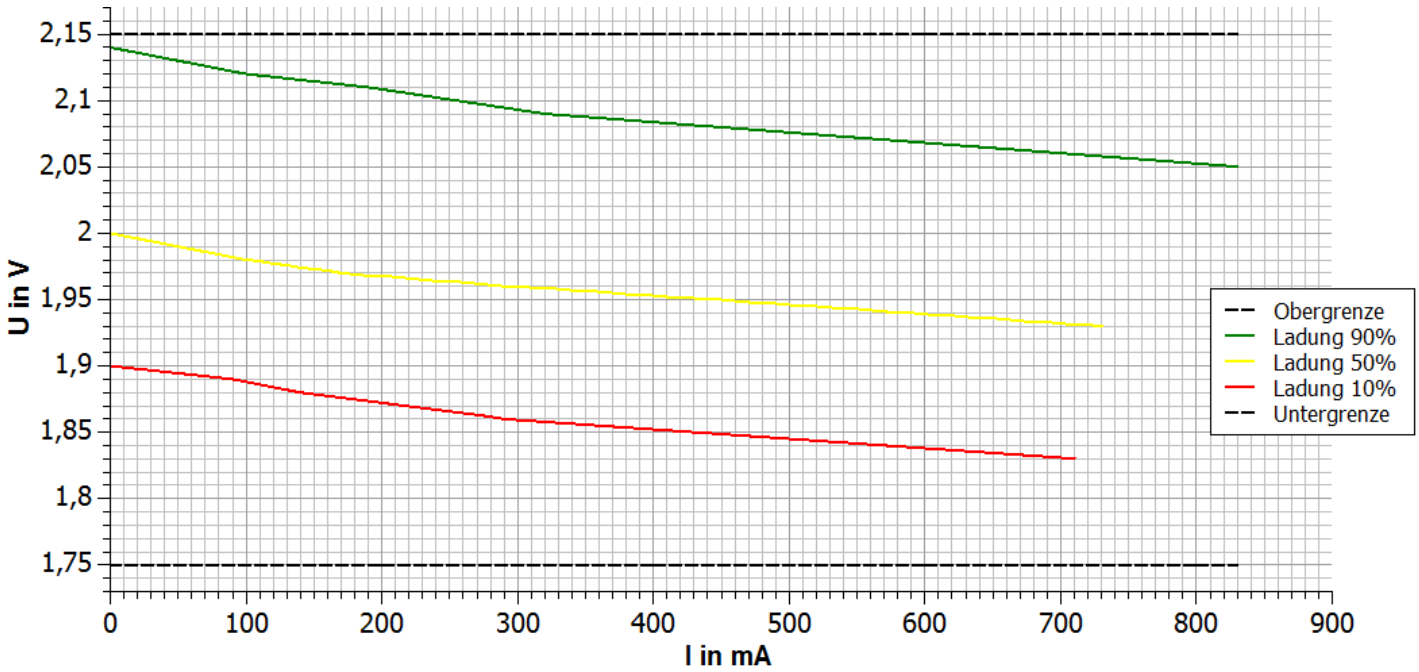
4.4 U-I-Kennlinie des Blei-Akkumoduls

Messwerte

U_0=_____

R_{Pot} in Ω										
U_{Last} in V										
I_{Last} in mA										

Diagramme



Auswertung

2.

4.4 U-I-Kennlinie des Blei-Akkumoduls

Auswertung

3.

4.

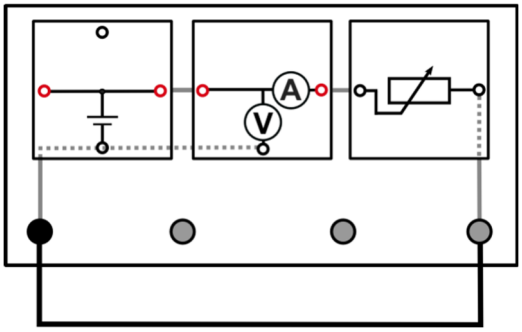
5.

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 60Ω 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.

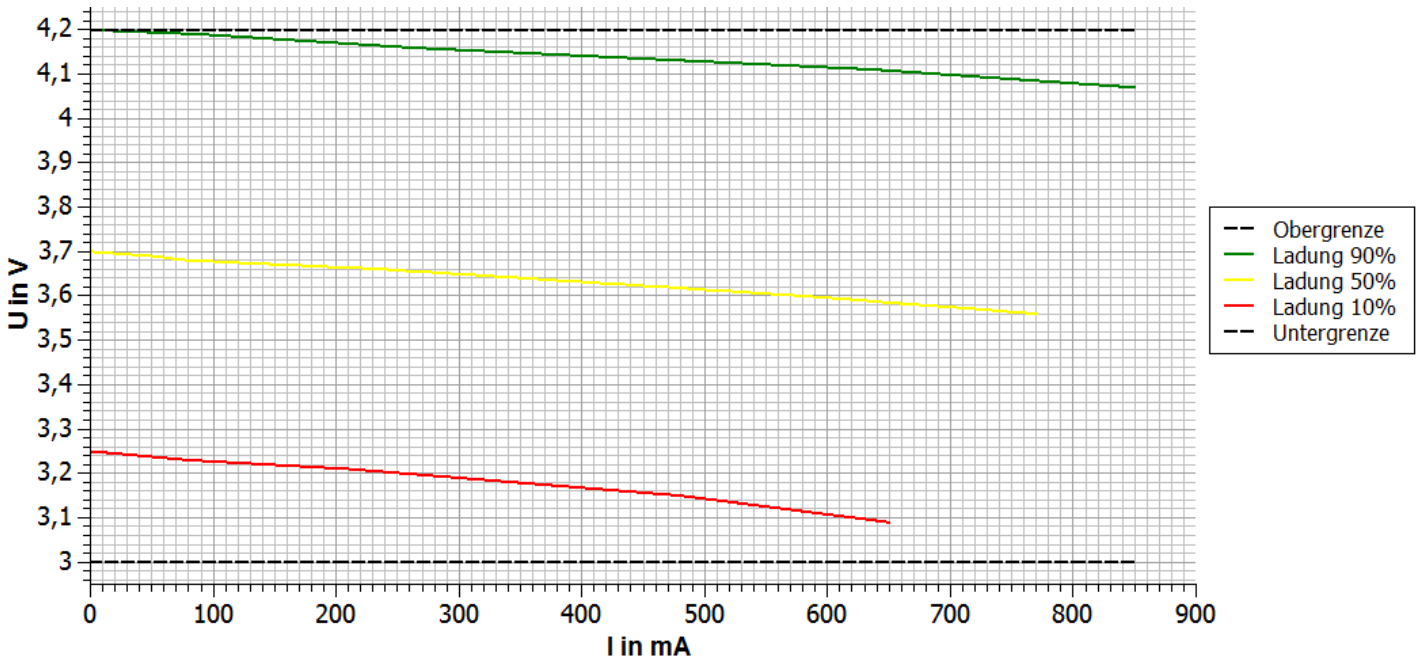
4.5 U-I-Kennlinie des Lithium-Polymer-Akkumoduls

Messwerte

U_0=_____

R_{Pot} in Ω									
U_{Last} in V									
I_{Last} in mA									

Diagramme



Auswertung

2.

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

Auswertung

3.

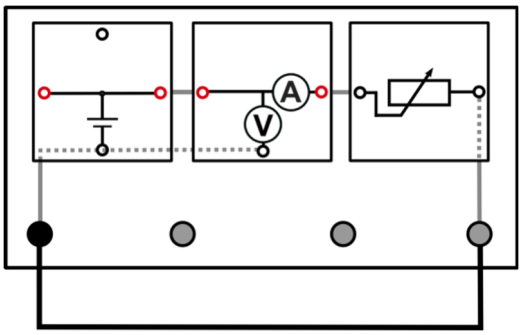
4.

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 100Ω 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.

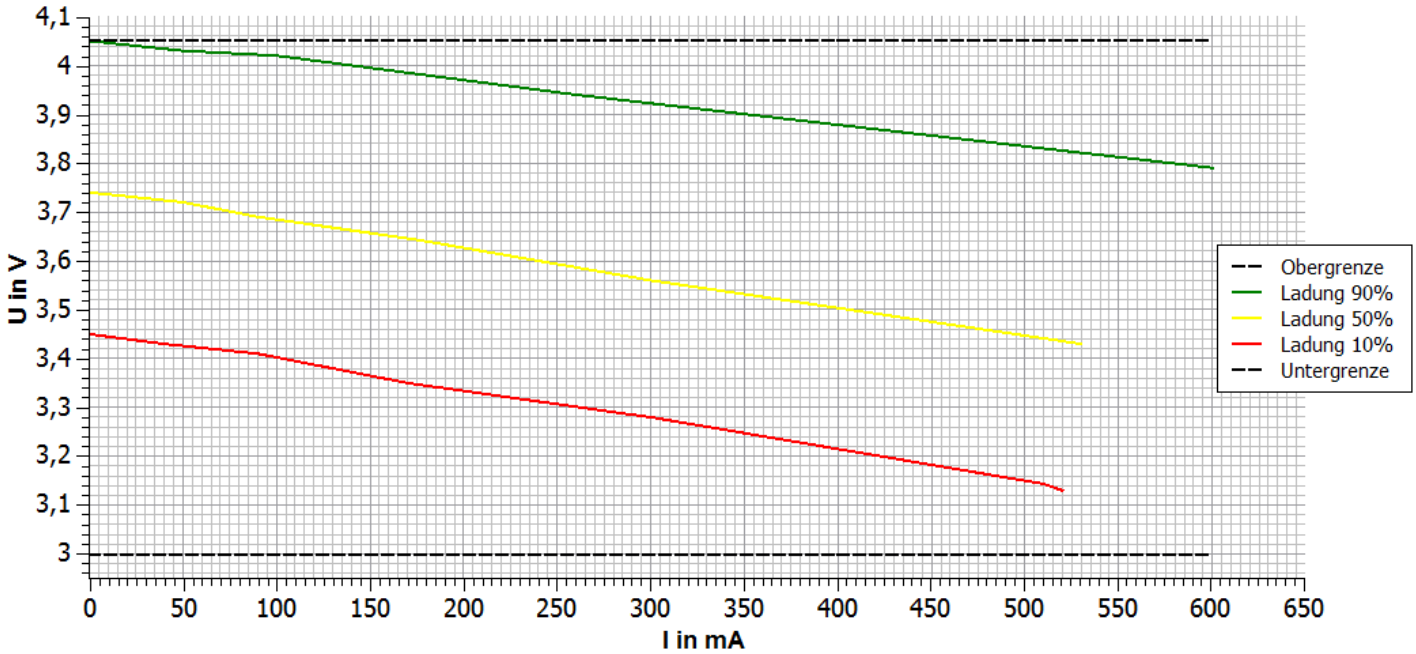
4.6 U-I-Kennlinie des dreifachen NiMH-Akkumoduls

Messwerte

U_0=_____

R_{Pot} in Ω										
U_{Last} in V										
I_{Last} in mA										

Diagramme



Auswertung

2.

4.6 U-I-Kennlinie des dreifachen NiMH-Akkumoduls

Auswertung

2.

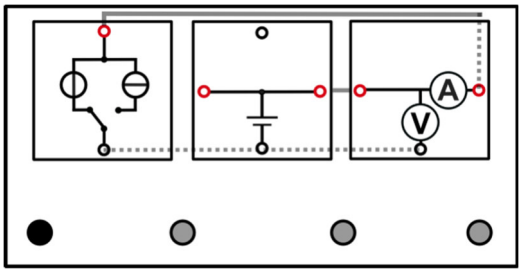
3.

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 Ladeprograms 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

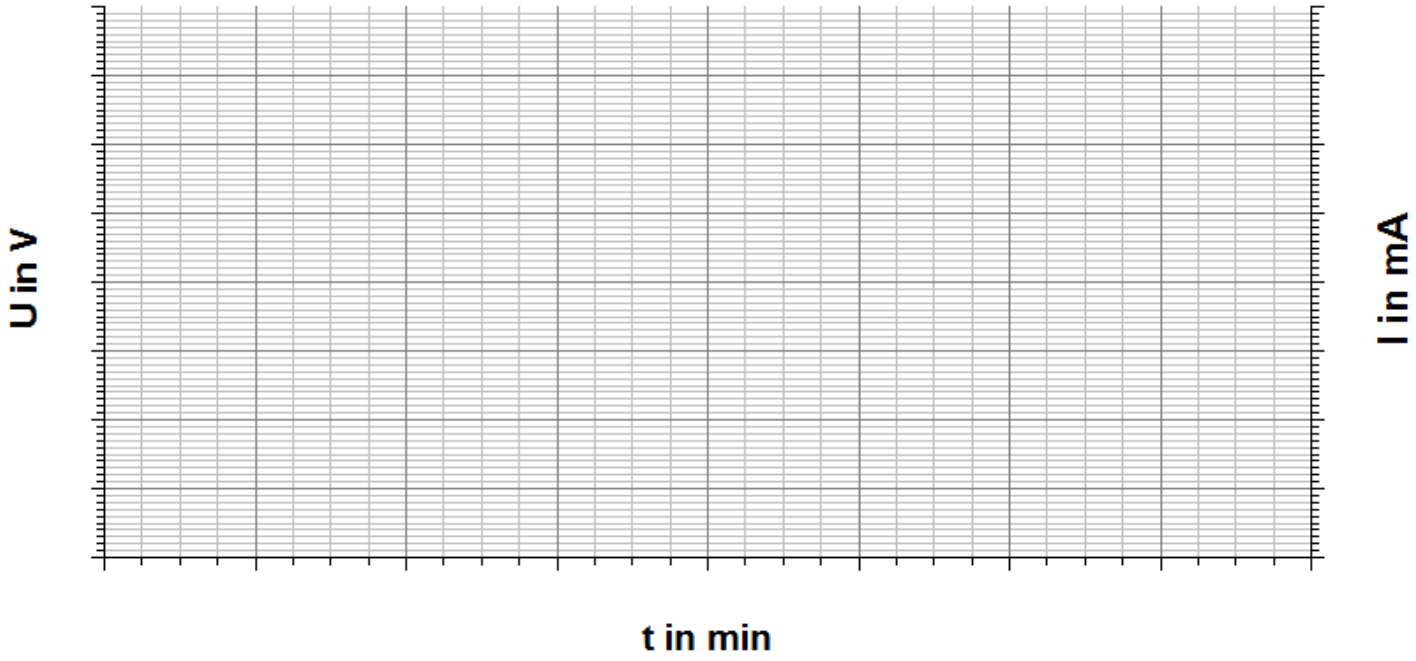
$U_0(1)$ = _____

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 NiMH-Akkus

Auswertung

2.

3.

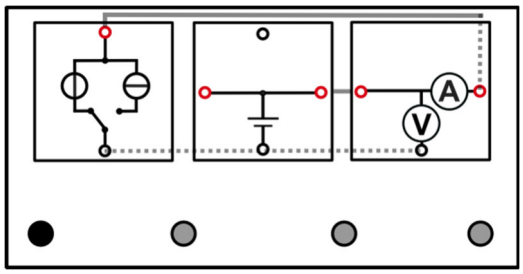
4.

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 Ladeprograms 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

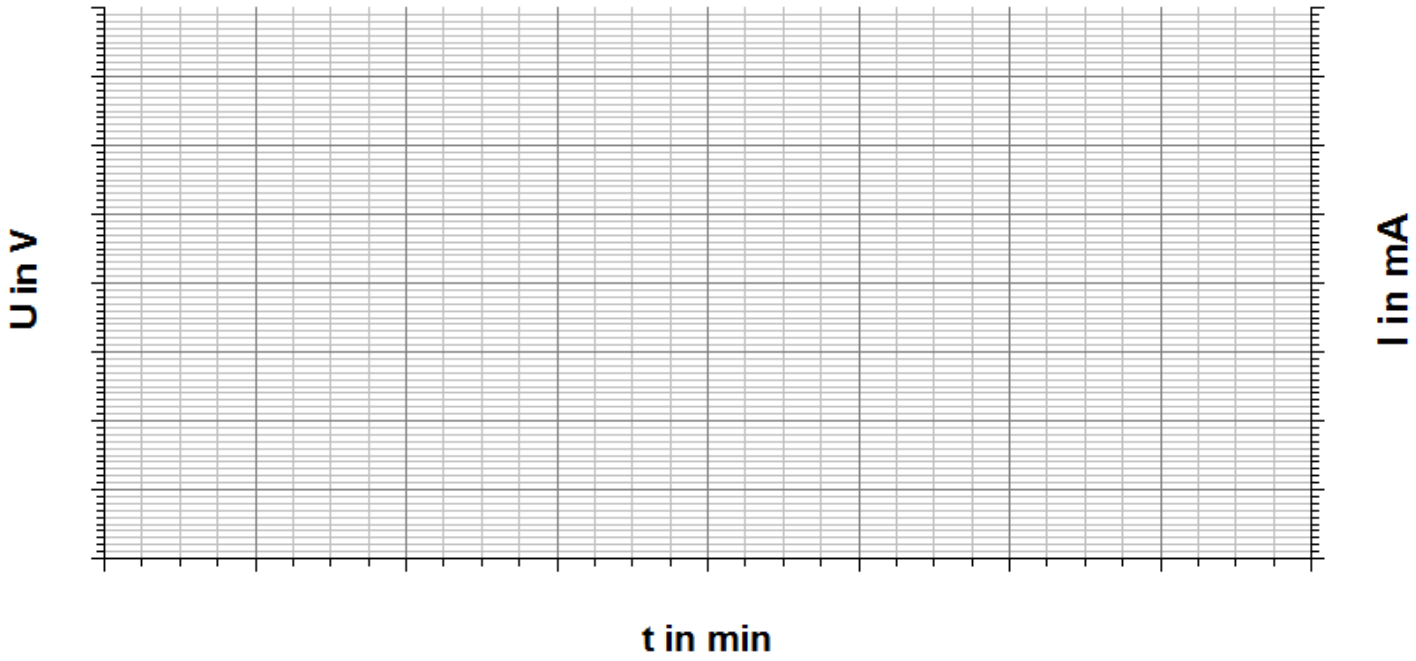
Messwerte

$U_0(1)$ = _____

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.

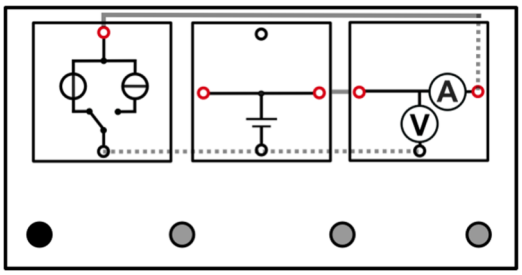
4.

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 Ladeprograms 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

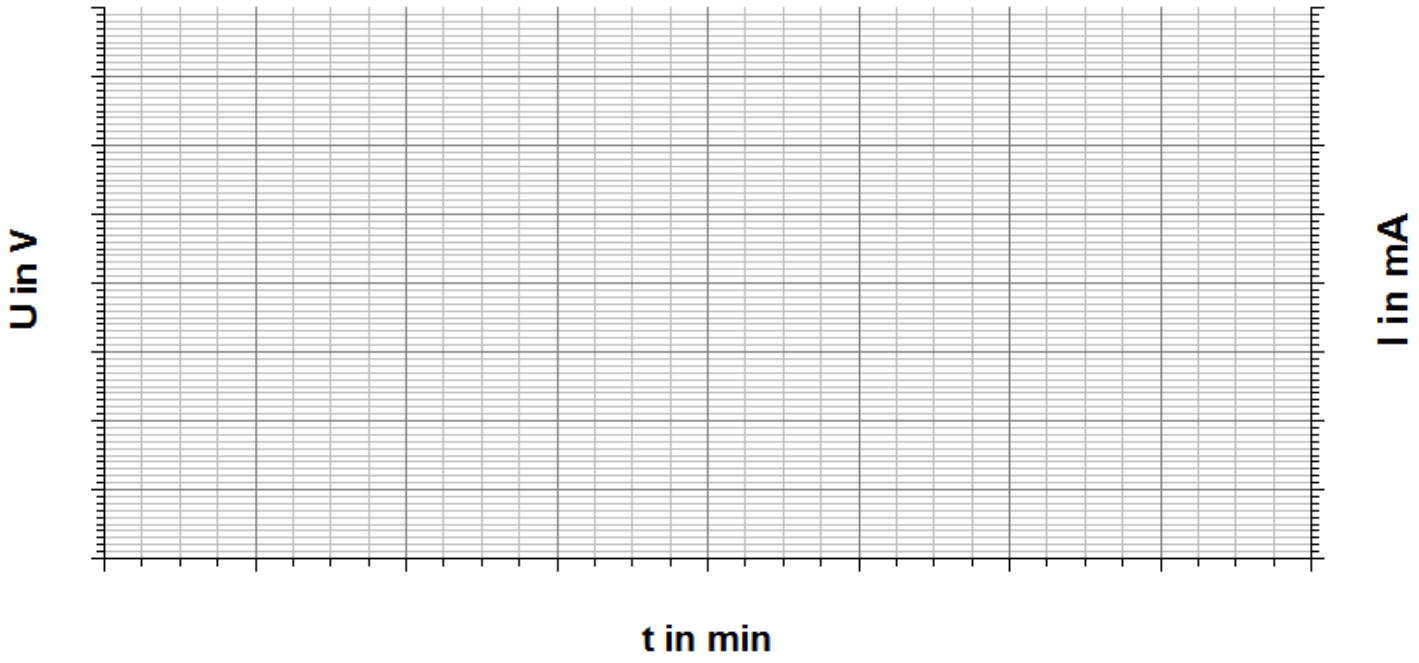
$U_0(1)$ = _____

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



5.3 Das Ladeverfahren des LiFePo-Akkus

Auswertung

2.

3.

4.

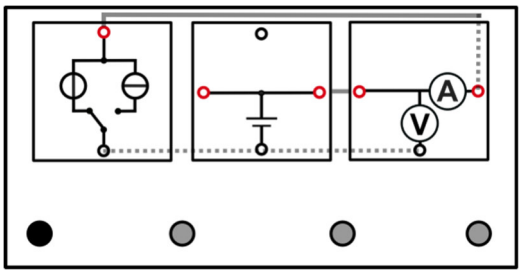
5.

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 Ladeprograms 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

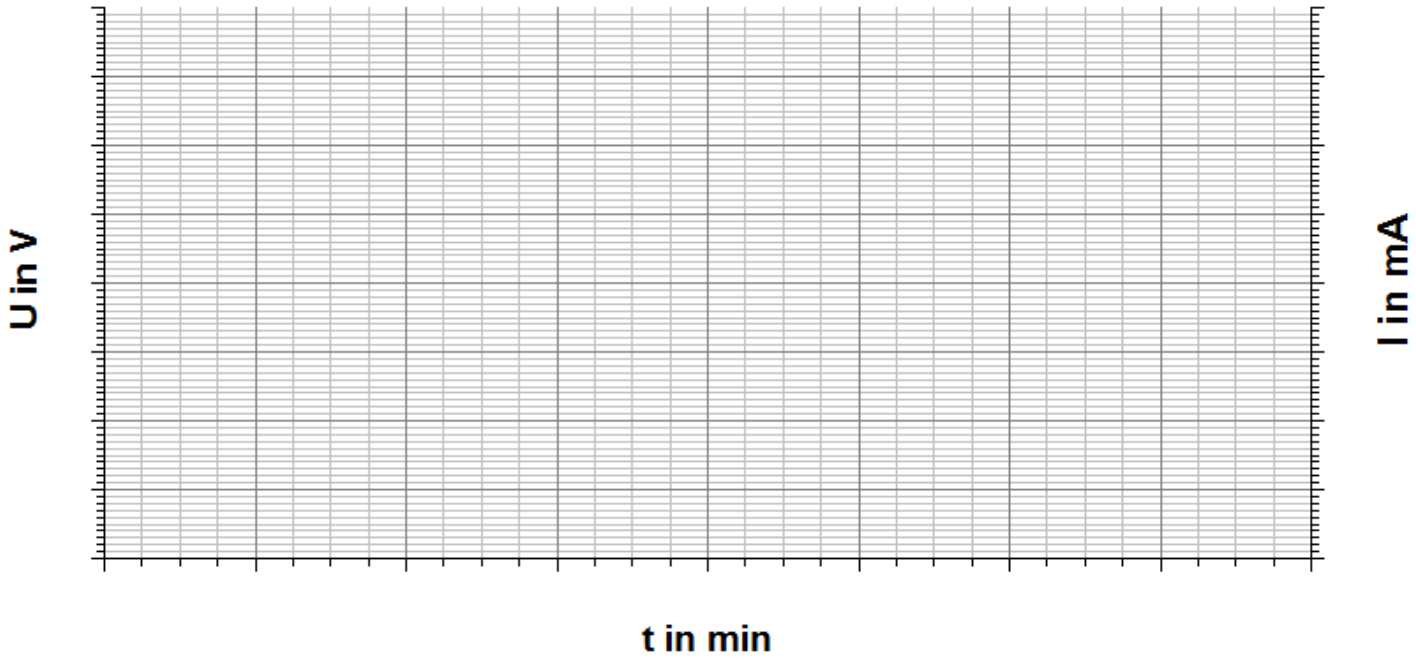
$U_0(1)$ =

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



5.4 Das Ladeverfahren des Blei-Akkus

Auswertung

2.

3.

4.

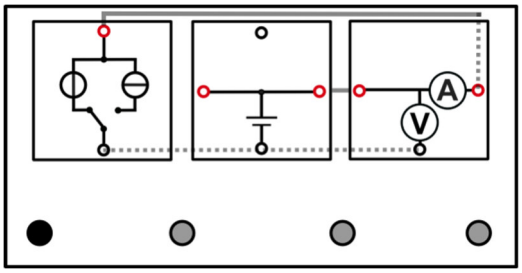
5.

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 Ladeprograms 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

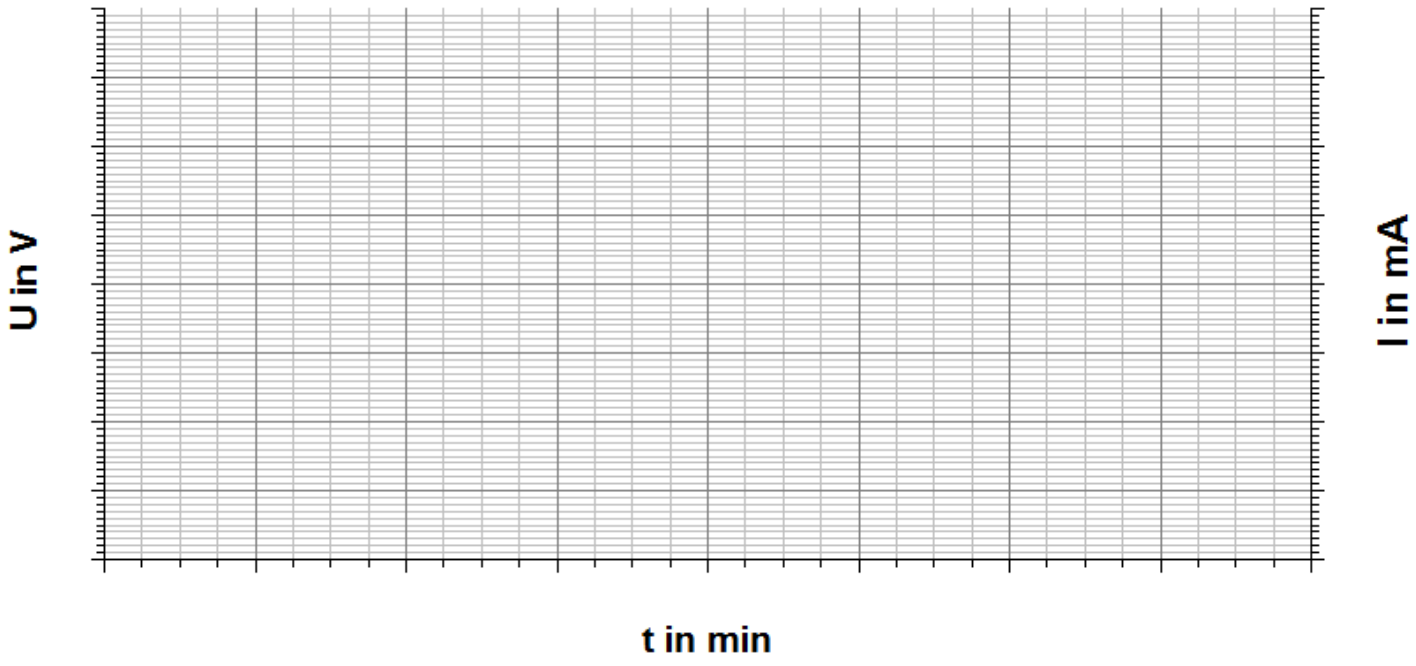
$U_0(1)$ = _____

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.

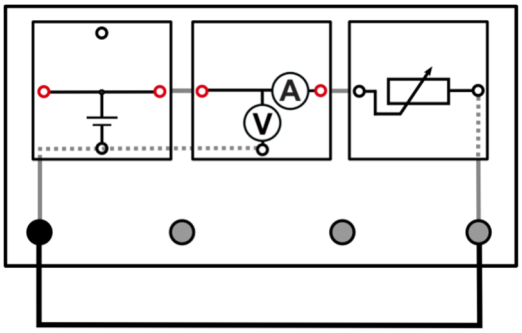
4.

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) = _____

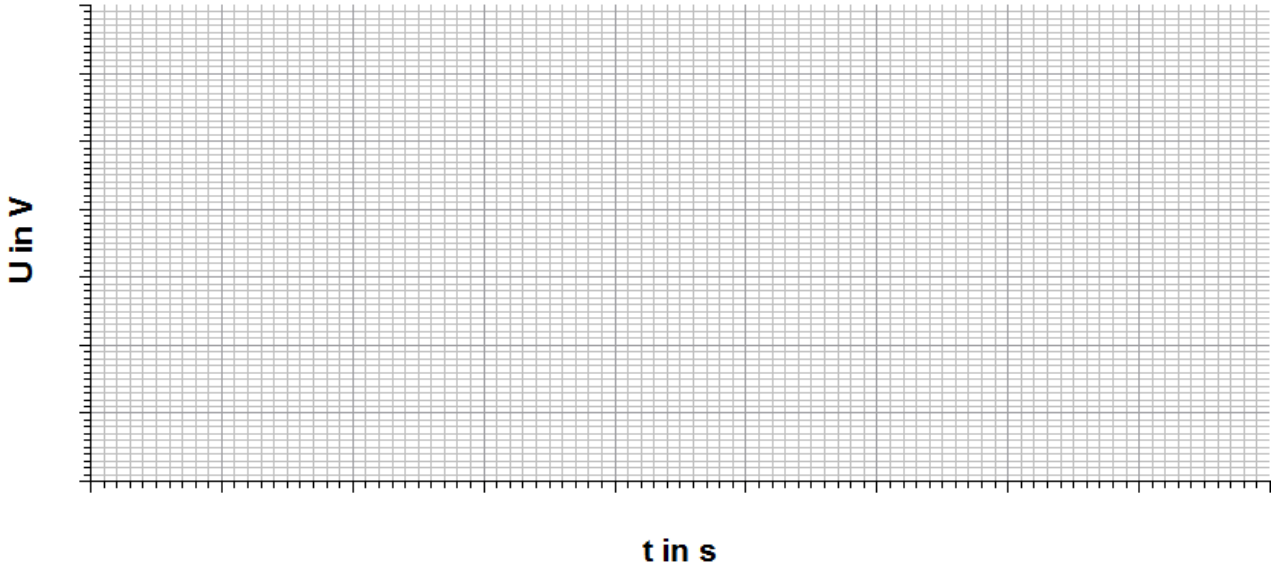
t in min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U in V											

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.

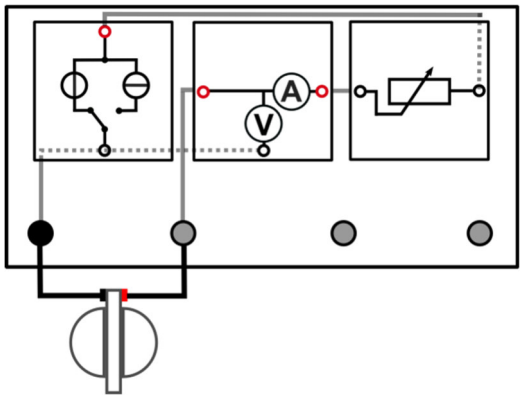
3.

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 2Ω 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.

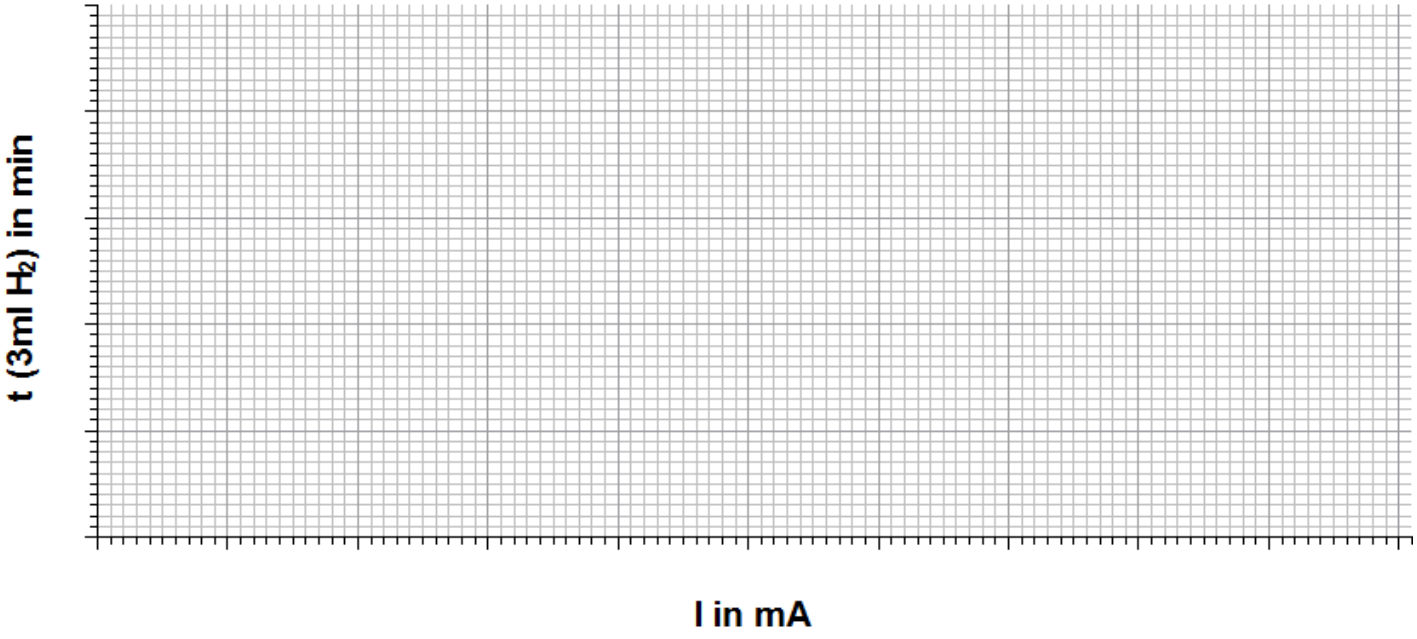
Messwerte

R in Ω	2	4	6	8
U in V				
I in mA				

6.1 Die Wasserstoffproduktion der reversiblen Brennstoffzelle

Zeit (3ml H_2) in min				

Diagramme



Auswertung

2.

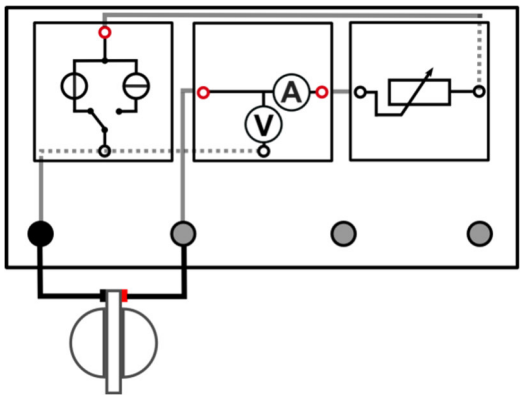
3.

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									

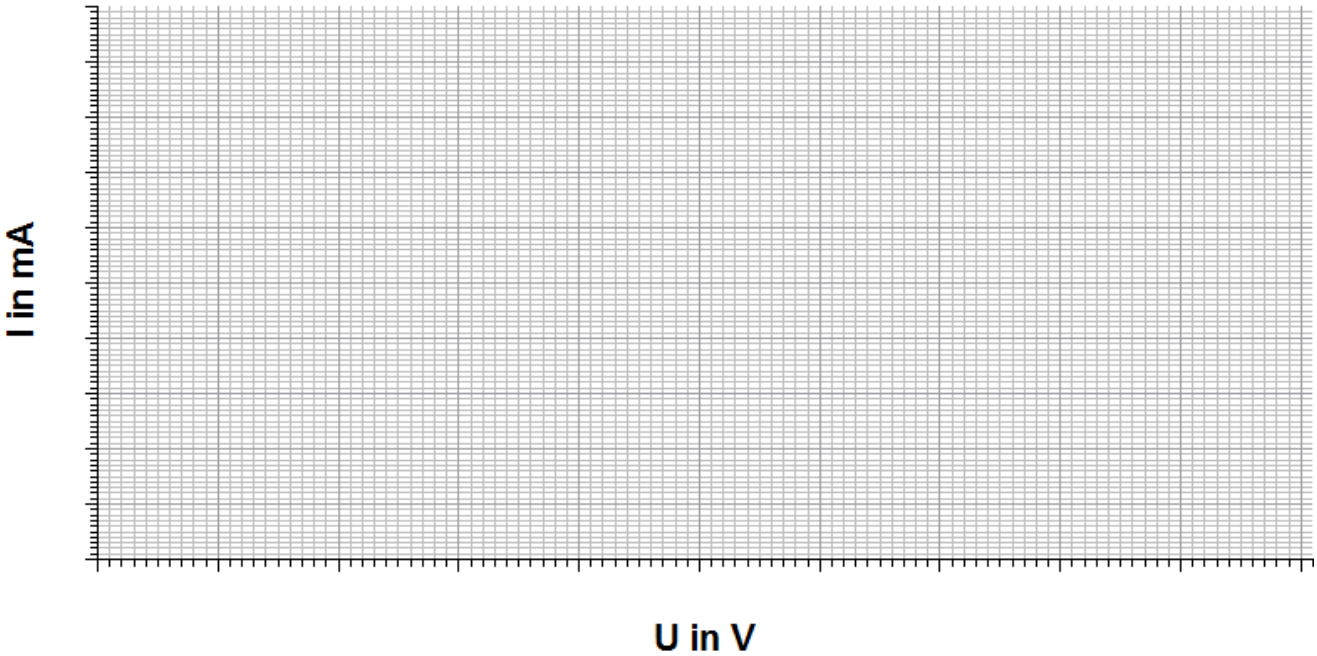
U in V									
I in mA									

6.2 Kennlinie des Elektrolyseurs

Auswertung

1. Tragen Sie Ihre Werte in das abgebildete Diagramm ein.
2. Interpretieren Sie die U-I Kennlinie des Elektrolyseurs.

Diagramme



Auswertung

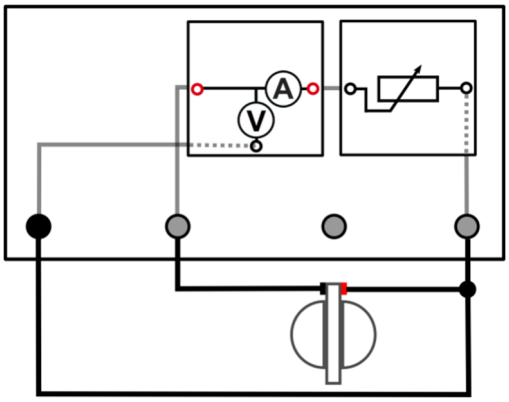
2.

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=4Ω. 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=2,0Ω. 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 Ω

t in min	1	2	3	4	5
U in V					
I in mA					
H_2 in ml					

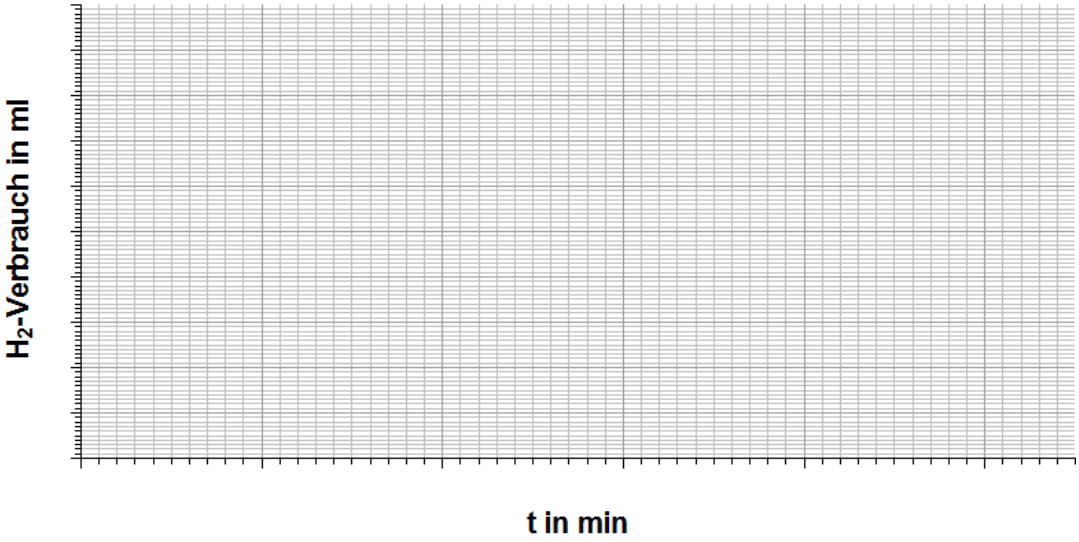
6.3 Der Wasserstoffverbrauch einer Brennstoffzelle

Messwerte

R=2,0Ω

t in min	1	2	3	4	5
U in V					
I in mA					
H_2 in ml					

Diagramme



Auswertung

2.

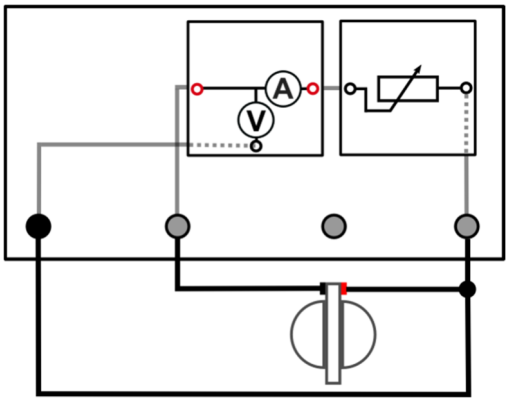
3.

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 den 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 10Ω) 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. 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 110Ω 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.

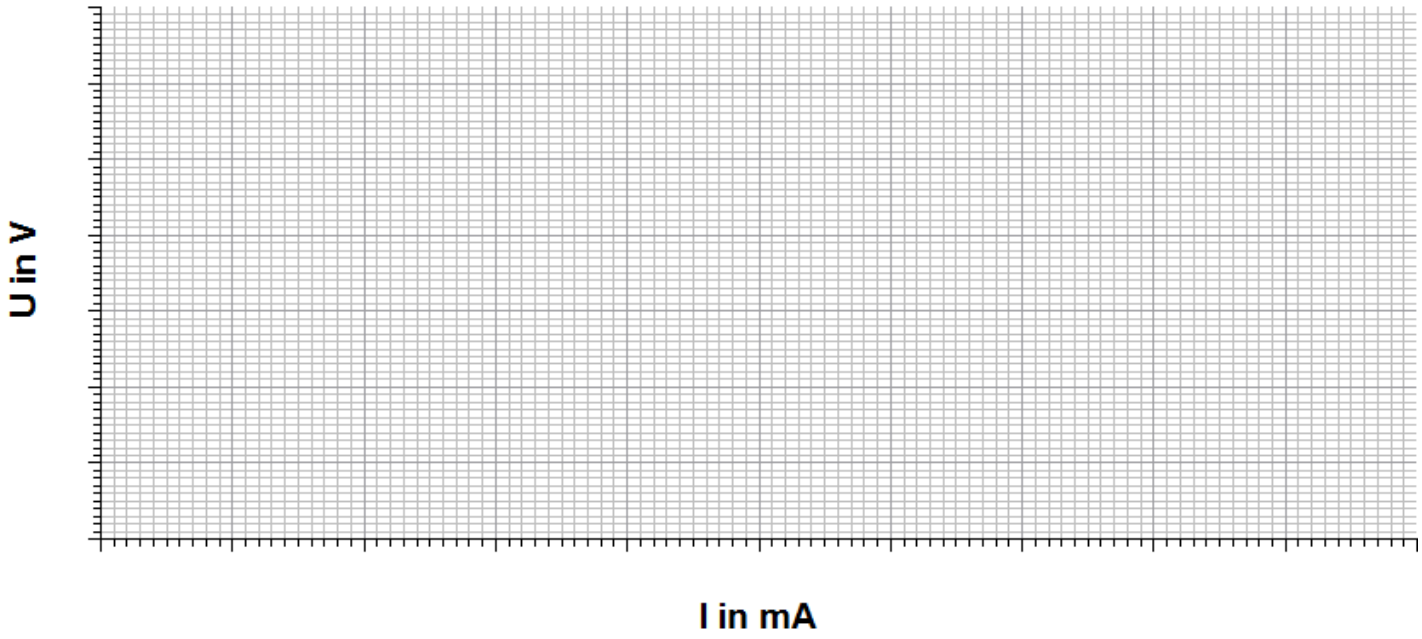
6.4 Die Kennlinie der Brennstoffzelle

Messwerte

U in V														
I in mA														

U in V														
I in mA														

Diagramm



Auswertung

2.

6.4 Die Kennlinie der Brennstoffzelle

Auswertung

3.

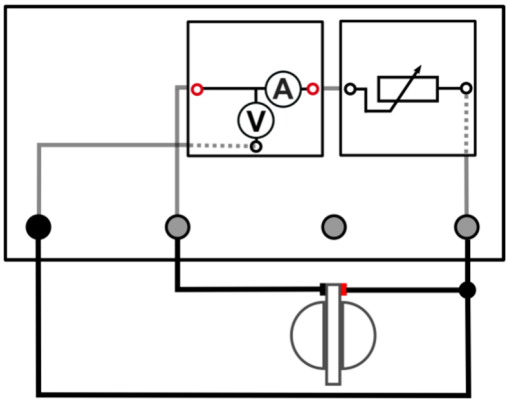
4.

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 den 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 10Ω) 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 5Ω 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_2-Füllung (12 ml) drehen würde.
3. Bestimmen Sie den Wirkungsgrad der reversiblen Brennstoffzelle. Der Wirkungsgrad der reversiblen Brennstoffzelle wird über folgende Formel bestimmt :

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

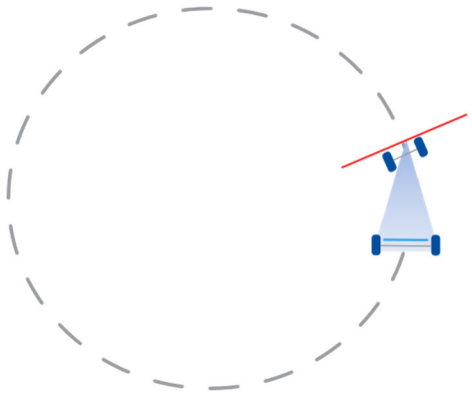
(Der untere Brennwert von 2ml H_2 beträgt W_1= 22 Ws)

7.1 Betrieb des Elektroautos mit verschiedenen Akkumodulen

Aufgabe

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

Aufbau



Benötigte Geräte

- Elektroauto mit Modulplatte
- 1 AV-Modul
- Bleiakkumodul
- 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						

7.1 Betrieb des Elektroautos mit verschiedenen Akkumodulen

Zeit für 4 Runden						

Auswertung

1.

2.

3.

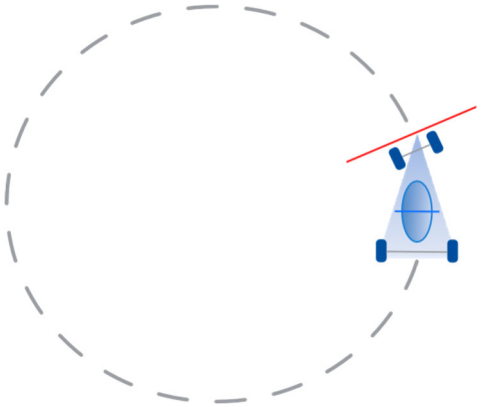
4.

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.