

CE

CONRAD

Liebe Kunden!

Dieses Produkt wurde in Übereinstimmung mit den geltenden europäischen Richtlinien hergestellt und trägt daher das CE-Zeichen. Der bestimmungsgemäße Gebrauch ist in der beiliegenden Anleitung beschrieben.



Bei jeder anderen Nutzung oder Veränderung des Produktes sind allein Sie für die Einhaltung der geltenden Regeln verantwortlich. Bauen Sie die Schaltungen deshalb genau so auf, wie es in der Anleitung beschrieben wird. Das Produkt darf nur zusammen mit dieser Anleitung weitergegeben werden.

Das Symbol der durchkreuzten Mülltonne bedeutet, dass dieses Produkt getrennt vom Hausmüll als Elektroschrott dem Recycling zugeführt werden muss. Wo Sie die nächstgelegene kostenlose Annahmestelle finden, sagt Ihnen Ihre kommunale Verwaltung.

**Achtung! Augenschutz und LEDs:**

Blicken Sie nicht aus geringer Entfernung direkt in eine LED, denn ein direkter Blick kann Netzhautschäden verursachen! Dies gilt besonders für helle LEDs im klaren Gehäuse sowie in besonderem Maße für Power-LEDs. Bei weißen, blauen, violetten und ultraviolett LEDs gibt die scheinbare Helligkeit einen falschen Eindruck von der tatsächlichen Gefahr für Ihre Augen. Besondere Vorsicht ist bei der Verwendung von Sammellinsen geboten. Betreiben Sie die LEDs so wie in der Anleitung vorgesehen, nicht aber mit größeren Strömen.

Achtung! Richtiger Umgang mit Akkus:

Akkus niemals kurzschließen, gewaltsam öffnen oder ins Feuer werfen. Nicht wiederaufladbare Batterien dürfen nicht ans Ladegerät angeschlossen werden. Bleiben Sie in der Nähe, während Sie Akkus laden. Bei unsachgemäßer Handhabung von Akkus besteht Explosionsgefahr!

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Alle in diesem Buch vorgestellten Schaltungen und Programme wurden mit der größtmöglichen Sorgfalt entwickelt, geprüft und getestet. Trotzdem können Fehler im Buch und in der Software nicht vollständig ausgeschlossen werden. Verlag und Autor haften in Fällen des Vorsatzes oder der groben Fahrlässigkeit nach den gesetzlichen Bestimmungen. Im Übrigen haften Verlag und Autor nur nach dem Produkthaftungsgesetz wegen der Verletzung des Lebens, des Körpers oder der Gesundheit oder wegen der schuldhaften Verletzung wesentlicher Vertragspflichten. Der Schadensersatzanspruch für die Verletzung wesentlicher Vertragspflichten ist auf den vertragstypischen, vorhersehbaren Schaden begrenzt, soweit nicht ein Fall der zwingenden Haftung nach dem Produkthaftungsgesetz gegeben ist.

Impressum

© 2013 Franzis Verlag GmbH, Richard-Reitzner-Allee 2, 85540 Haar bei München
www.franzis.de

Autor: Ulrich Stempel
Art & Design, Satz: www.ideehoch2.de

ISBN 978-3-645-10127-1

Produziert im Auftrag der Firma Conrad Electronic SE, Klaus-Conrad-Str. 1, 92240 Hirschau

Inhaltsverzeichnis

1	Vertraut machen mit den Komponenten des Lernpakets	5
1.1	Das Experimentierbrett.....	6
1.2	USB-Anschlusskabel.....	7
1.3	Solarmodul	8
1.4	Dioden.....	9
1.5	Leuchtdioden	11
1.6	Transistoren	12
1.7	Widerstände.....	13
1.8	Elektrolytkondensatoren.....	15
1.9	Akkuhalter.....	15
1.10	Experimentierkabel.....	16
1.11	Schaltdraht.....	17
2	Verwendung des USB-Kabels.....	17
2.1	USB-Kabel am Steckbrett anschließen	18
3	Energie speichern	20
3.1	Energiespeicherung mit dem Elko	21
4	Vertraut machen mit den Akkutypen	22
5	Erster Schritt mit dem Solarmodul	23
6	Akkus mit der USB-Quelle laden.....	26
7	NiMH- und NiCd-Akkus laden	28
8	Konstantstromladen.....	31
9	Impulsladen	35

10	Nickel-Zink-Zelle laden	38
11	Lithium-Akku Laden	42
12	Laden überwachen	48
	12.1 Akkutankanzeige.....	48
13	Akkus testen	50
	13.1 Test mit niedrigem Strom	52
	13.2 Test mit hohem Strom	54
14	Akku und Solarmodul	57
	14.1 Akkus mit Solarenergie laden.....	61
	14.2 Solarlader - was es zu beachten gilt	63
15	Rückstromsperre verwenden	65
16	Laderegler einsetzen.....	68
17	Solare Ladeüberwachung des Lithium-Akkus	70
18	Kombilader, Laden und Ladung erhalten	72
19	Solarnachtlicht.....	75
20	Erhalt der Leistungsfähigkeit von Akkus	79
	20.1 Akku-Notfallrettung.....	79
	20.2 Akkupflege	81

1 Vertraut machen mit den Komponenten des Lernpakets

Stück	Komponente	Spezifikation
1	Steckbrett	SYB 46, 270 Kontakte
1	Solarmodul	
1	USB-Stecker mit Kabel und Enden fürs Steckbrett	
1	Transistor	2N3904
1	Transistor	2N3906
1	Schottky-Diode, blau	BAT 42
2	Siliziumdioden	1N4001
1	LED, rot	5 mm
1	LED, orange	5 mm
1	Blink-LED, rot	5 mm
1	Kohlewiderstand	1 W
8	Kohlewiderstände	¼ W
1	Elektrolytkondensator	1.000 µF, 10 V
1	Batteriehalter mit Kabel	Mignon, AA
4	Steckstifte	
2	Krokodilkabel, rot und schwarz	
1	Schaltdraht	1,0 m

1.1 Das Experimentierbrett

Mit dem Experimentierbrett, auch als *Laborsteckbrett* oder einfach nur *Steckbrett* bezeichnet, können die Experimente ohne Lötcolben aufgebaut werden. Es besteht im Inneren aus Kontaktfedern, die in einem Reihensystem miteinander verbunden sind. Die elektronischen Bauteile und Verbindungsdrähte können wiederholt in die Kontakte eingesteckt werden und ermöglichen somit einen Schaltungsaufbau ohne Löten oder Schrauben. Schräg mit dem Seitenschneider abgewinkelte Anschlussdrähte lassen sich am leichtesten einstecken.

Das dem Lernpaket beigelegte Steckbrett hat insgesamt 270 Kontakte im 2,54-mm-Raster. Die 230 Kontakte im mittleren Bereich sind jeweils durch vertikale Streifen in 5er-Reihen verbunden.

An den Rändern der breiten Seite gibt es je eine Reihe mit 20 Kontaktpunkten, die horizontal mit einer Schiene verbunden sind. Diese »obere« und »untere« Reihe eignen sich gut als Stromversorgungsschienen.

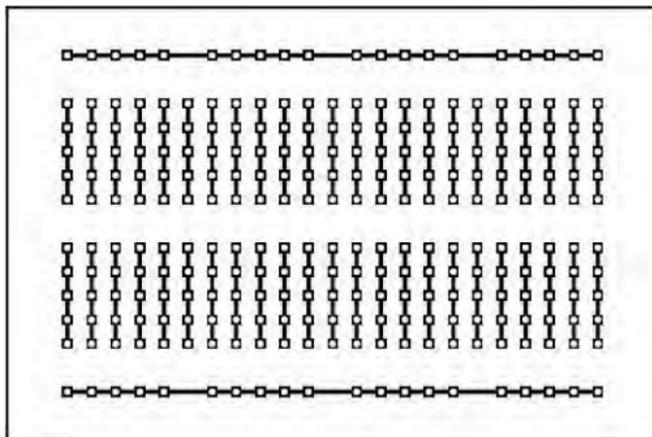


Abb. 001: Das Steckbrett - oben und unten die Stromversorgungsschienen

1.2 USB-Anschlusskabel

Das USB-Anschlusskabel des Lernpakets hat auf der einen Seite einen USB-A-Stecker und auf der anderen Seite einen Stiftstecker für das Steckbrett. Damit ist es möglich, die 5 V (Volt) Stromversorgung einer USB-Quelle (USB-Netzteilstecker) mit dem Steckbrett zu verbinden.

Wichtig!

Beim Anschluss des Stiftsteckers an das Steckbrett unbedingt auf die Polarität achten! Das rote Kabel zum Stiftstecker ist der Pluspol, der schwarze der Minuspol.



Abb. 002: USB-Anschlusskabel, Anschlussbelegung des Steckers: 1) = -5 V, 2) = D+, 3) = D-, 4) = +5 V

Wichtiger Hinweis zur Nutzung der USB-Stromversorgung

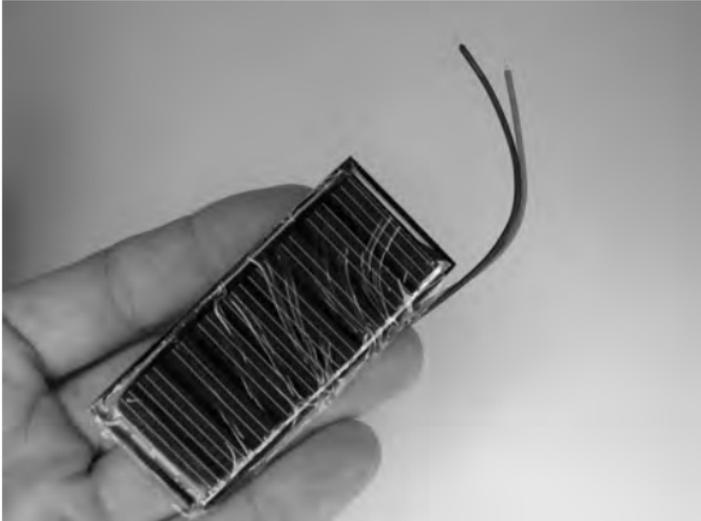
Es wird dringend empfohlen, für die nachfolgenden Experimente ein einfaches USB-Netzteil (z. B. für ein Mobiltelefon) mit 5 V Spannung und mindestens 500 mA (Milliampere) Leistungsabgabe zu verwenden.

Die USB-Stromversorgung für die Experimente könnte zwar von der Computer-USB-Buchse kommen, davon wird aber dringend abgeraten!

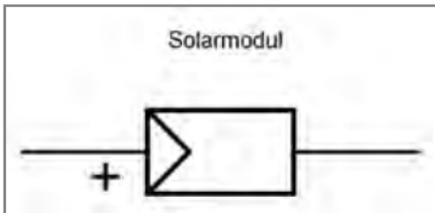
Der Grund: Im Prinzip dürfen High power Devices an der Computer-USB-Buchse einen Stromverbrauch von 500 mA haben, Low power Devices maximal 100 mA. Leider sind nicht alle USB-Buchsen (abhängig vom Computertyp) kurzschlussfest! Oft ist nur eine Sicherung an der Buchse eingelötet, manchmal auch ein entsprechender Widerstand. Bei einigen Geräten gibt es eine Sicherung, die sich von selbst zurückstellt, bei anderen Geräten muss sie nach einem Kurzschluss ausgetauscht werden. Es gibt auch mobile Computersysteme, bei denen die USB-Buchse eine reduzierte Spannung und einen reduzierten Strom abgibt.

1.3 Solarmodul

Das beiliegende Solarmodul besteht aus mehreren polykristallinen Solarzellen. Das Siliziummaterial, zusammengesetzt aus mehreren Kristallen, wird durch absichtliche Dotierungen so verunreinigt, dass dadurch eine negative und eine positive Schicht entstehen. Oben ist die N-Schicht (negativ dotiert), zur besseren Absorption des Lichts dunkelblau beschichtet. Die untere Schicht ist die P-Schicht. Durch auftreffendes Licht kommen die Elektronen in Bewegung und es entsteht eine Spannung zwischen den beiden beschriebenen Schichten. Diese Spannung und den fließenden Strom können wir verwenden. Eine einzige kristalline Siliziumsolarzelle kommt auf ca. 0,5 V pro Zelle. Der Strom ist abhängig von der Zellengröße.



a)



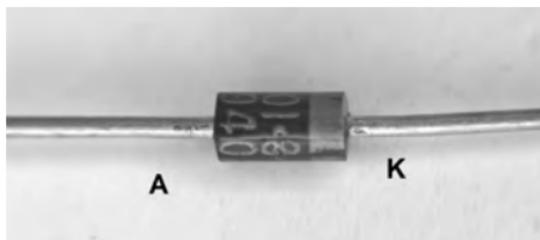
b)

Abb. 003:

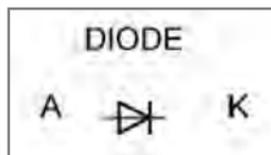
a) Solarmodul mit Schutzfolie,
b) Schaltsymbol

1.4 Dioden

Dioden lassen den Strom nur in eine Richtung durch. Sie werden deshalb unter anderem zum Gleichrichten von Wechselspannungen und zur Abblockung unerwünschter Polarität bei Gleichspannung eingesetzt. Die Funktion einer Diode können Sie sich im Normalbetrieb am einfachsten sinnbildlich als Rückschlagventil (Wasserinstallation) vorstellen.



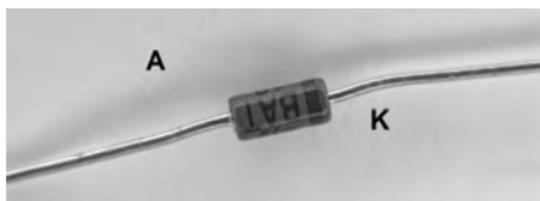
a)



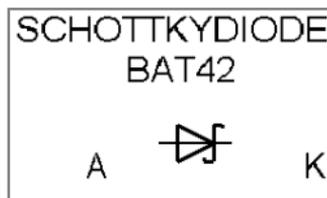
b)

Abb. 004: a) Siliziumdiode Typ 1N 4001; die Kathode der Diode ist an dem aufgedruckten Strich zu erkennen, der andere Anschlussdraht ist die Anode. Die technische Stromrichtung geht von der Anode zur Kathode. b) Schaltsymbol der Diode

In Durchlassrichtung (Schaltsymbol Pfeil) beginnt bei der Siliziumdiode wie z. B. der 1N 4001 erst ab einer Spannung von ca. 0,6-0,7 V oder 700 mV (Millivolt) nennenswert Strom zu fließen.



a)



b)

Abb. 005: a) Schottky-Diode, b) ihr Schaltbild

In Photovoltaik-Anlagen werden verlustarme Schottky-Dioden in der Regel auf zwei Arten genutzt: als Sperrdioden und als Bypass-Dioden. Die Sperrdioden verhindern, dass sich der Akku durch die Photovol-

taik-Module bei fehlendem Sonnenlicht entlädt. Die Bypass-Dioden schützen Solarzellen und das Panel vor möglichen Schäden, die durch partielle Verschattungen verursacht werden könnten.

1.5 Leuchtdioden

Die LED (light emitting diode = Licht emittierende Diode) hat neben den Eigenschaften einer normalen Diode noch eine weitere Eigenschaft: Sie leuchtet, wenn Spannung angelegt wird. LEDs sollten normalerweise immer mit einem Vorwiderstand zur Strombegrenzung betrieben werden. Rote LEDs benötigen die geringste Spannung (1,8 V). Danach folgen die gelben, grünen, blauen und zuletzt die weißen LEDs mit der höchsten Spannung (bis zu 3,6 V).

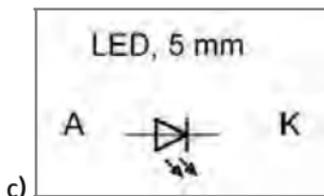
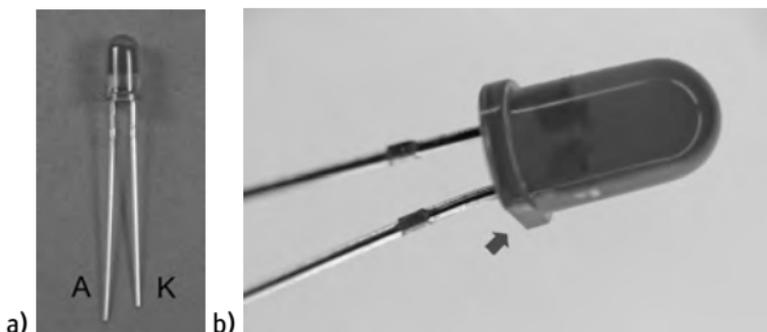


Abb. 006: a) Anschlussbelegung der Leuchtdioden: die Anode (+) mit dem längeren Anschlussdraht (links) und die Kathode (-), b) zusätzlich durch eine Abflachung am Gehäuse markiert. c) Das Schaltsymbol der LED

Neben den »normalen« LEDs gibt es auch Spezialausführungen wie z. B. eine blinkende LED. Die Blink-LED erkennen Sie an dem kleinen schwarzen Punkt innerhalb des roten Gehäuses. Dieser Punkt beinhaltet eine winzig kleine Elektronik in Form eines inte-

grierten Schaltkreises, der die LED – sobald die richtige Spannung angelegt wird – zum Blinken bringt.

1.6 Transistoren

Transistoren sind aktive Bauelemente, die in elektronischen Anwendungen zum Schalten und Verstärken von Strom und Spannung eingesetzt werden.

Die dem Lernpaket beigelegten bipolaren Transistoren haben die Typenbezeichnung 2N 3904 und 2N 3906. Es handelt sich dabei um komplementäre Kleinleistungstransistoren, die für eine maximale Betriebsspannung von 30 V und einen Strom von maximal 200 mA geeignet sind. Komplementär bedeutet, dass es sich um ein zueinander passendes Transistorpaar aus einem NPN- und einem PNP-Transistor handelt. Die Bezeichnungen »N« und »P« stehen für die negativen und positiven Halbleiterschichten im Transistor. Für den Fall, das Ihnen diese Begriffe noch nicht viel sagen, können Sie die Funktionen später anhand der Experimente praktisch nachvollziehen.

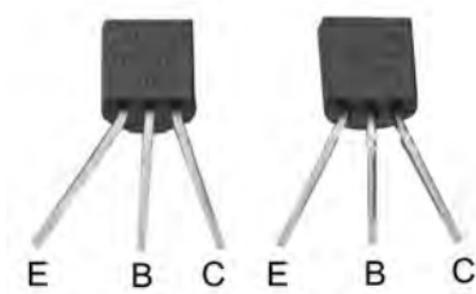


Abb. 007:
Transistoranschlüsse.
E = Emitter, B = Basis,
C = Kollektor

So funktioniert der Transistor

Ein kleiner an der Basis-Emitter-Strecke angelegter Strom kann einen großen Strom auf der Kollektor-Emitter-Strecke steuern. D. h., fließt ein geringer Basisstrom (bei NPN-Transistoren positiv, bei PNP-Transistoren negativ), leitet der Transistor den Strom vom Kollektor zum Emitter, bzw. umgekehrt. Fließt über die Basis kein Strom oder ist der Basisanschluss auf negativem (NPN) bzw. positivem Potenzial (PNP), sperrt der Transistor.

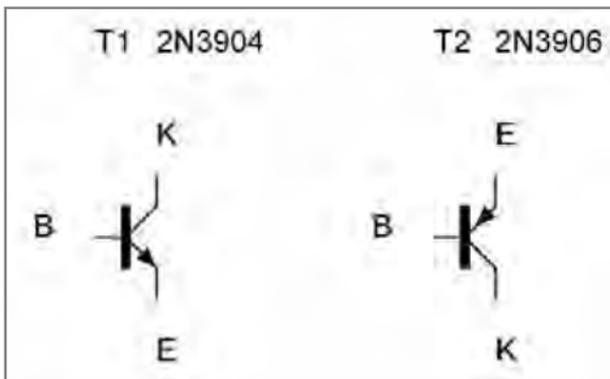
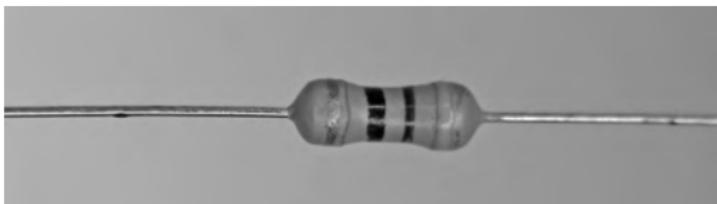


Abb. 008: Schaltsymbole für NPN- und PNP-Transistor.

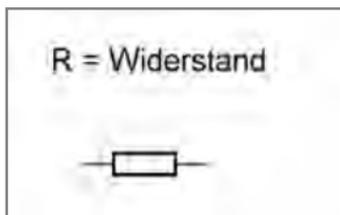
1.7 Widerstände

Ein Widerstand ist ein passives Bauelement in elektrischen und elektronischen Schaltungen. Seine Hauptaufgabe ist die Reduzierung des fließenden Stroms auf sinnvolle Werte (siehe auch Kapitel »Leuchtdioden«).

Die bekannteste Widerstandsbauf orm ist der zylindrische keramische Träger mit axialen Anschlussdrähten.



a)



b)

Abb. 009: a) Widerstand,
b) Schaltsymbol

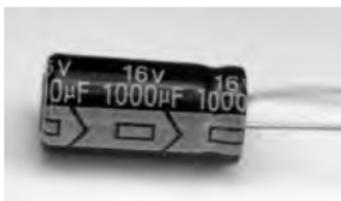
Die Widerstandswerte sind codiert und in Form von farbigen Ringen aufgedruckt. Im Lernpaket befinden sich Kohleschichtwiderstände mit folgenden, in der Tabelle angegebenen Werten und Farbringen:

Anzahl	Widerstands-wert	1. Ring 1. Ziffer	2. Ring 2. Ziffer	3. Ring Multiplikator	4. Ring Toleranz
1	1,2 Ω	Braun	Rot	Gold	Gold
1	1,5 Ω	Braun	Grün	Gold	Gold
1	10 Ω	Braun	Schwarz	Schwarz	Gold
1	100 Ω	Braun	Schwarz	Braun	Gold
3	1 k Ω	Braun	Schwarz	Rot	Gold
1	2,2 k Ω	Rot	Rot	Rot	Gold
1	100 k Ω	Braun	Schwarz	Gelb	Gold

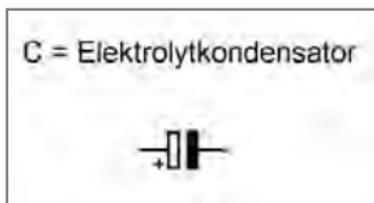
1.8 Elektrolytkondensatoren

Elektrolytkondensatoren (Elkos) haben im Vergleich zu normalen Kondensatoren eine hohe Kapazität. Aufgrund des Elektrolyts ist ein Elko polungsabhängig, und die Anschlüsse sind mit einem Pluspol und einem Minuspol bezeichnet. Wird das Bauteil über längere Zeit »falsch herum« angeschlossen, wird dadurch der Elektrolyt des Kondensators zerstört. Die aufgedruckte maximale Spannungsangabe sollte nicht überschritten werden. Andernfalls kann die Isolierschicht zerstört werden.

μ ist immer der millionste Teil der Grundeinheit. μF steht für Mikrofarad.



a)



b)

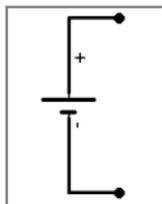
Abb. 010: a) Elektrolytkondensator. Der Minuspol ist am Gehäuse durch einen hellen Strich gekennzeichnet. b) Das Schaltsymbol des Elkos

1.9 Akkuhalter

Der Akkuhalter dient der Aufnahme von Akkus des Formats AA-Mignon. Der Akkuhalter kann auch für das Format AAA-Mikro verwendet werden, wenn die Feder am Minuspolanschluss etwas in die Länge gezogen wird.



a)



b)

Abb. 011: a) Akkuhalter; b) Schaltsymbol des Akkus

1.10 Experimentierkabel

Mit den roten und schwarzen Experimentierkabeln, an deren Enden jeweils Krokodilklemmen angeschlossen sind, können Sie schnell und einfach einzelne Teile elektrisch anschließen und verbinden - ohne Lötcolben und ohne Schraubendreher. Sinnvoll ist, die roten Anschlusskabel für den Pluspol und die schwarzen für den Minuspol zu verwenden.



Abb. 012: Experimentierkabel mit Krokodilklemmen

1.11 Schaltdraht

Drahtbrücken können Sie mit dem beiliegenden Schaltdraht herstellen. Dazu ist die ungefähre Länge der Drahtbrücke abzuschätzen oder abzumessen (zuzüglich der Länge für die Drahtenden, die in die Steckkontakte eingesteckt werden sollen). Die Enden sind dann ca. 8 mm lang abzuisolieren. Schräg mit dem Seitenschneider abgezwickte Anschlussdrähte lassen sich leichter stecken. Die einmal hergestellten Drahtbrücken können immer wieder verwendet werden.

2 Verwendung des USB-Kabels

Das beiliegende USB-Kabel sollte an ein 5-V-USB-Steckernetzteil angeschlossen werden, wie es zum Laden von Mobiltelefonen verwendet wird. Prinzipiell ist der Anschluss am USB-Ausgang eines PCs möglich, davon wird aber abgeraten. Der Grund: Bei einem versehentlichen Kurzschluss beim Schaltungsaufbau kann die im Computer eingebaute Strombegrenzung (meist in Form eines Widerstands) zerstört werden.

2.1 USB-Kabel am Steckbrett anschließen

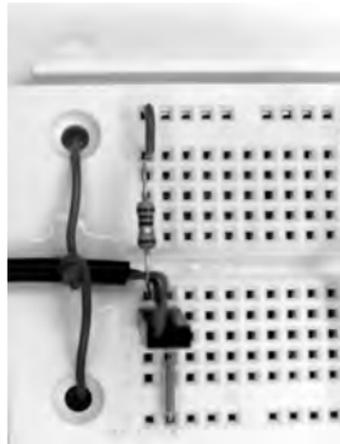
Versuchsaufbau: Steckbrett, Kabel mit USB-A-Stecker und Pins, Widerstand 1 k, Widerstand 1,5 Ω , rote LED

Für die folgenden Ladeexperimente kann das USB-Kabel am Steckbrett angeschlossen bleiben.

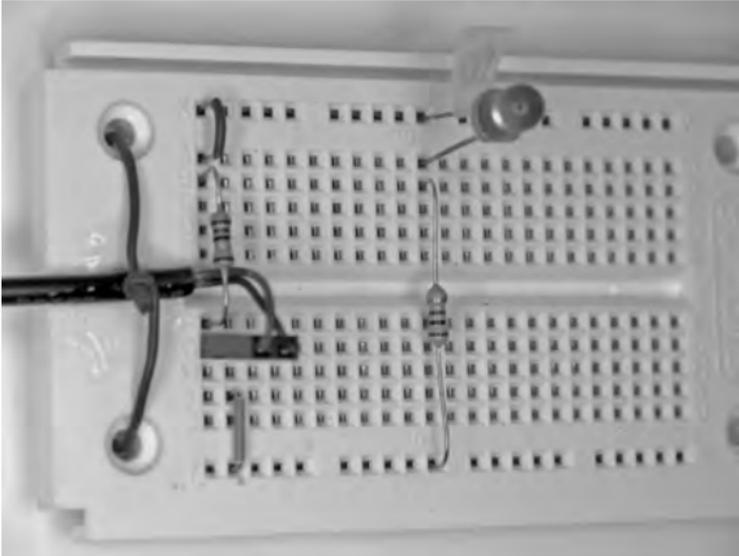
Den Stiftstecker des USB-Kabels in die Kontakte des Steckbretts stecken. Darauf achten, dass der Pluspol des Stiftsteckers zur oberen Stromversorgungsschiene führt. Dann mit dem beiliegenden Schaltdraht den mit dem roten Kabel verbundenen Stift mit der Pluspolleiste und den Stift des schwarzen Kabels mit der Minuspolleiste verbinden (siehe Abbildung). Der Schutzwiderstand mit 1,5 Ω dient als Kurzschlusschutz für alle Fälle.



a)



b)



c)

Abb. 013: a) und b): Stiftstecker mit dem Steckbrett verbinden; an den Pluspol den 1,5- Ω -Schutzwiderstand stecken. c): Die LED und den 1-k-Widerstand hinzufügen.

Im nächsten Schritt die rote LED stecken. Hier ist zu beachten, dass der längere Anschlussdraht zum Pluspol kommt. Zusätzlich den Widerstand 1 k in das Steckbrett stecken. Wenn nun der USB-Stecker mit der USB-Stromquelle verbunden wird, sollte die LED leuchten.

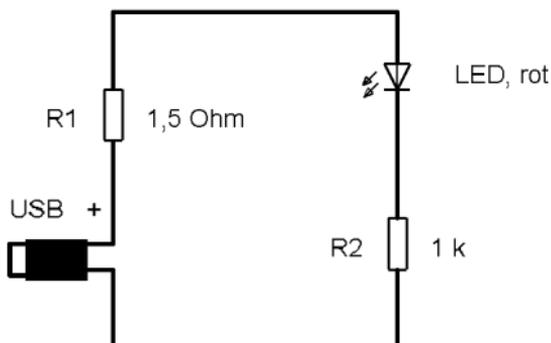


Abb. 014: Schaltbild mit USB-Anschluss und roter LED

3 Energie speichern

Das mit unseren Sinnen nicht wahrnehmbare Prinzip der Energiespeicherung mit elektrischem Strom lässt sich mit einem Prinzip, das wir beim Wasser beobachten können, vergleichen und erklären: Über einen Wasserhahn wird ein Wasserbehälter mit Wasser gefüllt. Das Wasser kann zu einem späteren Zeitpunkt wieder entnommen werden.

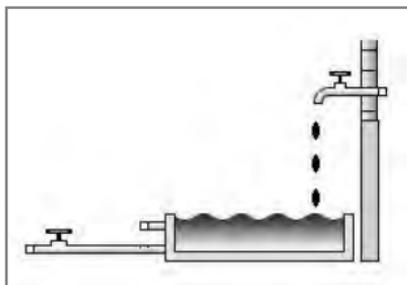


Abb. 015: Prinzip der Energiespeicherung, verdeutlicht anhand eines Wasserbehälters

Der »Energiespeicher« hat in der elektronischen Welt unterschiedliche Ausbildungsformen. Dem Lernpaket liegt ein Elektrolytkondensator bei. Die Speicherwirkung kann man damit gut nachvollziehen. Der Vorteil des Kondensatorspeichers liegt darin, dass er eine sehr lange Lebensdauer hat. Im Vergleich zum Akku ist die Speicherkapazität aber nur gering, was für die Experimente den Vorteil hat, dass das Prinzip der Speicherung in einer überschaubar kurzen Zeitspanne abläuft. Vergleich: Der Wasserhahn füllt nur einen kleinen Becher. Das geht dann natürlich auch viel schneller als bei einem großen Becken.

3.1 Energiespeicherung mit dem Elko

Versuchsaufbau: Steckbrett, Kabel mit USB-A-Stecker und Pins, Widerstand 1 k, rote LED, Elko 1.000 μ F

Der vorhergehende Aufbau wird um den Elko erweitert. Die Anschlussdrähte des Elkos zeigen mit dem Pluspol zur Pluspolschiene des Steckbretts. Wenn der Elko korrekt gesteckt ist, den USB-Stecker in das USB-Steckernetzteil einstecken. Die LED leuchtet. Den USB-Stecker von der USB-Quelle trennen, und die rote LED leuchtet noch kurze Zeit weiter, obwohl die Stromversorgung unterbrochen wurde. Die Energie wurde im Elko zwischengespeichert.

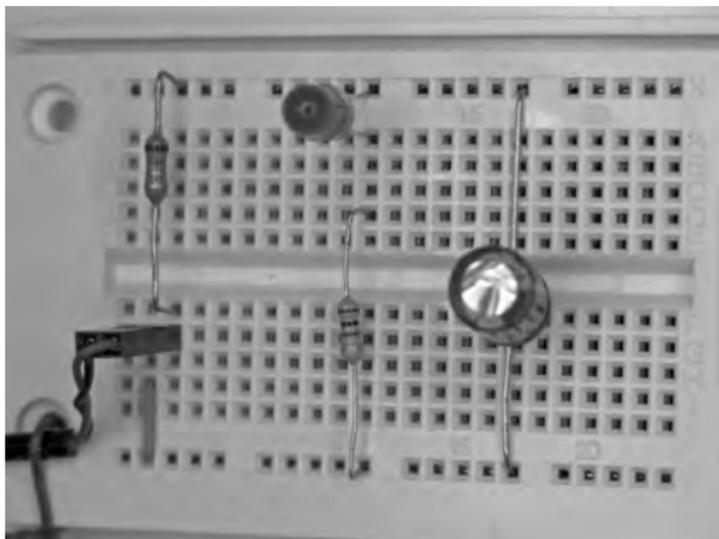


Abb. 016: Steckbrett mit Speicherelko

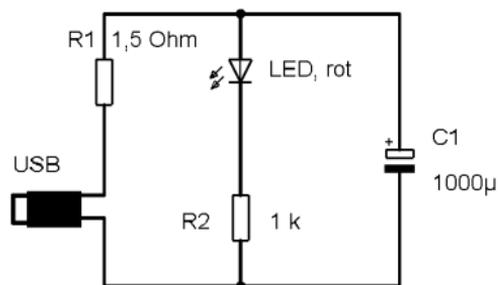


Abb. 017: Schaltbild

4 Vertraut machen mit den Akkutypen

Die gebräuchlichsten und im Alltag verwendeten Akkutypen:

1. Bleiakku (Bleisäure, Bleigel), z. B. Starterbatterie im Kfz.

2. Nickel-Kadmium (NiCa; nicht mehr im Handel), oft in Akkuschraubern verwendet.
3. Nickel-Metallhydrid (NiMH)
4. Nickel-Zink (NiZn; neu auf dem Markt)
5. Lithium (Li) in unterschiedlichsten Ausführungen

Den Bleiakku kennt man vom Auto als sog. »Starterbatterie«. Dieser Akkutyp ist preiswert, langzeitstabil und sehr robust, aber schwer. Er hat, bezogen auf das Gewicht, nur einen geringen Energiegehalt. Blei ist ein Schwermetall. Alte Akkus müssen zurückgegeben werden und werden dann recycelt.

Die Akkutypen 2 bis 5 sind Gegenstand der nachfolgenden Experimente. Obwohl der Nickel-Kadmium-Akku nicht mehr im Handel ist, gibt es dank der Langlebigkeit dieses Akkutyps immer noch zahlreiche Akkus in der Nutzung.

Bei den Experimenten kann man die unterschiedlichen Ladeverfahren, und was es zu beachten gibt, praktisch erfahren.

5 Erster Schritt mit dem Solarmodul

Experimentieraufbau: Solarmodul, Krokodilklemmen, 2 rote LEDs

Im Lernpaket gibt es zwei rote LEDs, die sich äußerlich kaum unterscheiden lassen. Um herauszufinden, welches die Blink-LED und welches die »normale« LED ist, kann man folgendes einfache Experiment mit den Krokodilkabeln und dem Solarmodul machen: Die Krokodilkabel und Klemmen an die Anschlussdrähte des Solarmoduls anschließen, Rot an Rot und Schwarz an Schwarz. Dann die rote Krokodilklemme mit dem längeren Anschlussdraht

einer der roten LEDs und die schwarze mit dem kürzeren Anschlussdraht verbinden. Wenn etwas Licht auf das Solarmodul fällt, kann man sehen, dass die angeschlossene LED entweder blinkt oder mit Dauerlicht leuchtet.



Abb. 018: Experimentieraufbau mit Krokodilklemmen

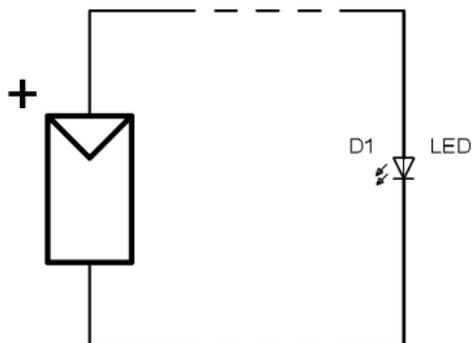


Abb. 019: Schaltbild, links das Symbol für das Solarmodul

Normalerweise sollten LEDs mit einem Vorwiderstand betrieben werden. Da das Solarmodul nur einen begrenzten Strom liefert und es sich hier um ein Kurzzeitexperiment handelt, kann man eine Ausnahme machen, um herauszufinden, welches die dauerhaft leuchtende LED und welches die Blink-LED ist. Die Blink-LED dann mit einem Stück Klebeband für die weiteren Experimente markieren.

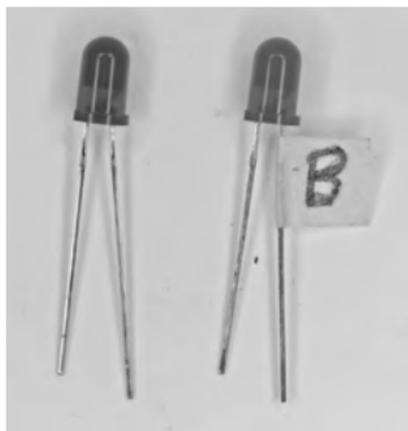


Abb. 020: Markierte Blink-LED

6 Akkus mit der USB-Quelle laden

USB ist im Computerbereich Standard und ist weit verbreitet. Elektronische Geräte, Computerzubehör wie z. B. externe Festplatten, aber auch kleine Lampen, Ventilatoren usw. können damit betrieben werden.

Die meisten Mobiltelefonanbieter bieten inzwischen Mikro-USB als Standardgerätebuchse für den Ladekontakt des Mobiltelefons an.

Der USB-Standard beim Computer ist so eingerichtet, dass Geräte zunächst im *Low Power-Mode* (100 mA oder 150 mA) starten und bei höherem Strombedarf diesen erst anfordern, bevor sie den normalen Modus schalten.

Durch die unterschiedlichen Anwendungen sind Netzteile mit einer 5-V-USB-Stromquelle weit verbreitet. Der vom Netzteil gelieferte Strom liegt meist bei 500 bis 2.000 mA. Ein solches USB-Netzteil ist gut für die weiteren Ladeexperimente geeignet.



Abb. 021: USB-Netzteil

Die USB-Quelle eignet sich hervorragend für Ladeexperimente mit kleineren Akkuzellen. Die Nutzung setzt aber Elektronikschaltungen voraus, die das spezielle Ladeverhalten der jeweiligen Akkutypen berücksichtigen.



Abb. 022: USB-Cell-NiMH, Mignonzelle mit eingebautem USB-Adapter



Abb. 023: Kompakter USB-Lader für AA- und AAA-Akkus der Typen NiMH und NiCd

7 NiMH- und NiCd-Akkus laden

Versuchsaufbau: Steckbrett, Kabel mit USB-A-Stecker, Widerstand 100 Ω , LED orangefarben, Akkuhalter, Akku AA oder AAA, wenn vorhanden: Multimeter

Die Akkus wie z. B. die NiMH-Akkus und die NiCd-Akkus sind Alternativen zu Einwegbatterien. Der zuletzt aufgeführte Akkutyp wird nicht mehr verkauft.

Nickel-Metallhydrid-Akkus sind derzeit der häufigste Akkutyp und in mehreren Formaten erhältlich. Hier wiederum dürften die am häufigsten verwendeten Formate Mignon (AA) und Mikro (AAA) sein. Beide können in den Batteriehalter aus dem Lernpaket eingelegt und verwendet werden.

Die Akkutypen sind ladetechnisch und in der Anwendung weitgehend unproblematisch. Was in der praktischen Anwendung manchmal störend ist, ist die niedrige Zellenspannung von 1,2 V im Vergleich zur Systemspannung der Einwegbatterien mit 1,5 V.

Obwohl der Akkutyp Nickel-Kadmium nicht mehr im Handel ist, sind noch viele dieser Akkus in Benutzung. Kadmium ist giftig, und deshalb wurde der Vertrieb dieses Akkutyps verboten und eingestellt. Gleichzeitig sind die NiCd-Akkus sehr robust und funktionieren über lange Zeit problemlos, wenn sie richtig geladen und genutzt werden.

Nachfolgend wird eine einfache Dauerladeschaltung (Ladeerhaltung) von der USB-Quelle für NiMH und NiCd-Akkuzellen aufgezeigt. Die LED zeigt die Ladefunktion an und reguliert gleichzeitig den Ladestrom auf ca. 20 mA (wenn der Akku leer ist). Je »voller« der Akku geladen wird, desto geringer wird der Ladestrom und desto weniger leuchtet die LED.

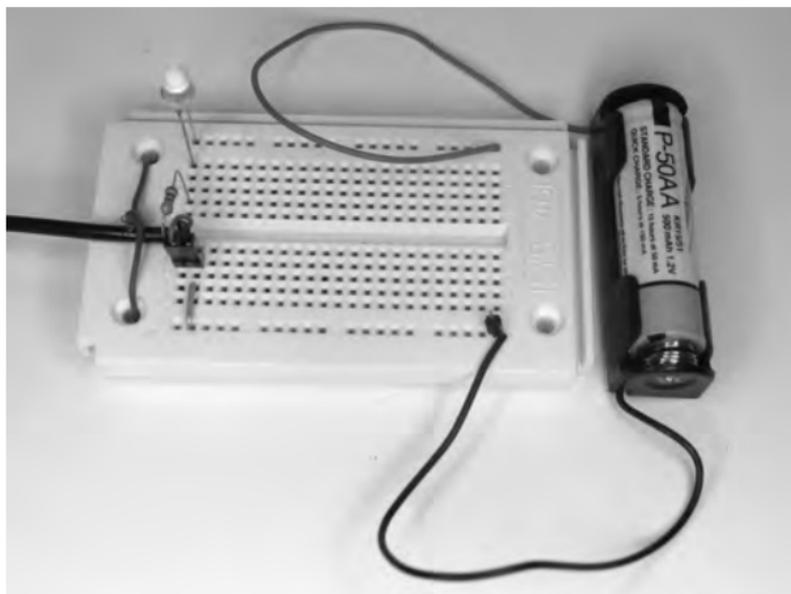


Abb. 024: Aufbau Steckbrett; geladen wird ein Mignonakku.

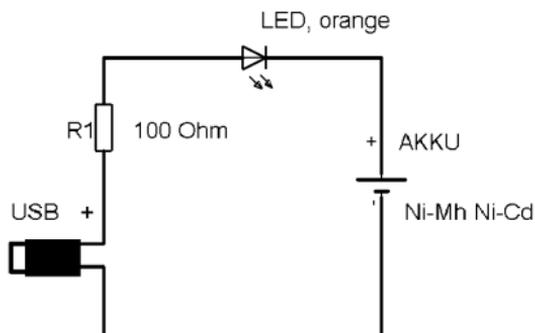


Abb. 025: Schaltplan

Zusatzversuch (wenn ein Multimeter vorhanden ist): Multimeter im Bereich Milliampere in Reihe zum Akku verdrahten. Dann kann man den aktuellen Ladestrom ablesen.



Abb. 026: Messaufbau

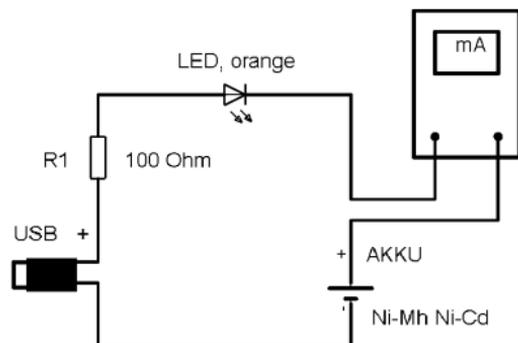


Abb. 027: Schaltbild

Mit einem Multimeter kann man den Ladestrom überprüfen und natürlich auch die Akkuspannung messen. Zum Messen der Akkuspannung sind die Kabel des Multimeters direkt an den Akkualter anzuschließen (parallel zum Akku).

8 Konstantstromladen

Versuchsaufbau: USB-Kabel, Steckbrett, 1 Widerstand $1,5 \Omega$, 2 Widerstände 1 k , 1 Widerstand $1,2 \Omega$, LED orangefarben, Schottky-Diode BAT 42, Akkualter, Akku Mignon AA oder Mikro AAA

Konstantstromladen ist bei einfachen Ladegeräten eine verbreitete Möglichkeit, Akkus zu laden. Abhängig von der Akkukapazität wird mit einem konstanten Strom der leere Akku eine definierte Zeit lang aufgeladen.

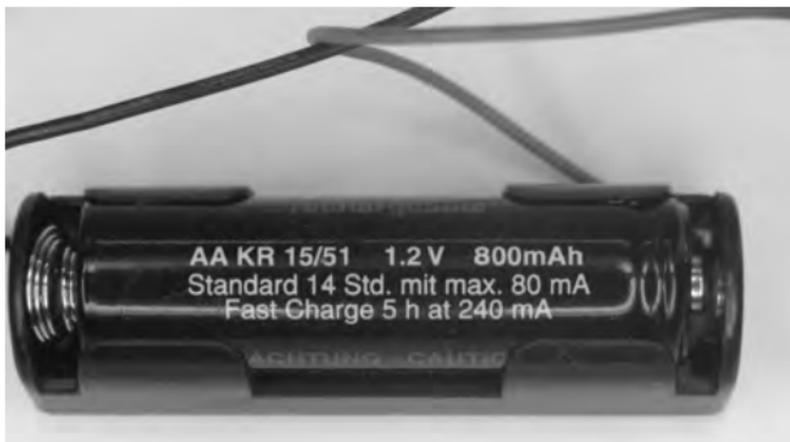


Abb. 028: Ladeempfehlung auf einem Akku: Konstantstromladung

Die auf dem Akku abgedruckte Ladeempfehlung gibt an, über welchen Zeitraum und mit welcher Stromstärke geladen werden soll. Bei der einfachen Konstantstromladung eines Akkus ist es die übliche Praxis, ihn mit $1/10$ des Stroms der Kapazitätsangabe 14 Stunden lang aufzuladen.

Beispiel

Akkukapazität: 800 mAh, Ladestrom: 80 mA, Ladezeit: 14 Stunden. Sind die 14 Stunden Ladezeit vorbei, besteht die Möglichkeit, dass eine zeitgesteuerte Elektronik auf Erhaltungsladung umschaltet. Die Ladeerhaltung kann mit 1/20 der Akkukapazität oder weniger erfolgen, dementsprechend mit gleich oder weniger 40 mA.

Auch gibt es Ladegeräte mit einer thermischen Überwachung und Abschaltung (z. B. bei Akkus von preiswerten Akkuschraubern). Dies funktioniert vor allem bei NiCd-Akkus sehr gut, da diese, wenn sie vollgeladen sind, die aus dem Ladegerät nachfließende Energie in Wärme umwandeln. Somit ist für die Elektronik damit nachvollziehbar, dass der Akku nun vollgeladen ist.

Die Ladestrombegrenzung der Konstantstromladung wird bei einfachen Netzladegeräten durch einen Widerstand realisiert, der zwischen Netzteil und Akku eingefügt ist und den Ladestrom regelt.

Der Widerstand R1 wird mit der Formel: $R = U/I$ berechnet. R ist der Widerstand in Ohm, U die Spannung in Volt und I der Strom in Ampere. R1 sollte so dimensioniert sein, dass der Ladestrom für den Akku geeignet ist.

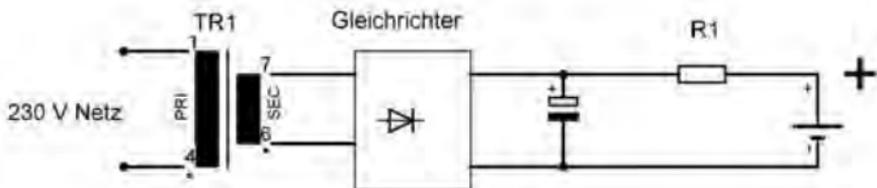


Abb. 029: Prinzipschaltbild Konstantstromlader; R1 ist der für den Ladestrom zuständige Widerstand.

Die Lademethode mit Konstantstrom ist zwar sehr einfach, hat aber auch einige Nachteile: Der Akku sollte vor dem Ladevorgang vollständig entladen sein, und der Ladestrom sollte in etwa von $C/10$ der Akkukapazität sein, um Ungenauigkeiten durch leichtes, aber schadloses Überladen auszugleichen. Wenn der Akku schnellladefähig ist, kann der Ladestrom bei entsprechend kürzerer Ladezeit auch höher sein.

Bei den älteren NiCd-Akkus kann, wenn der Akku nicht vollständig entladen wurde, der sog. Memory-Effekt auftreten.

Memory-Effekt

Wird beim Entladen des Akkus nicht die ganze Kapazität genutzt und der Akku nur zum Teil entladen und dann wieder aufgeladen, »merkt« sich der Akku diesen Zustand und gibt beim nächsten Entladen nur noch diesen Teil an den Verbraucher ab. Der geladene Akku verliert damit im Lauf der Lebensdauer immer mehr an nutzbarer Kapazität, denn an der aus Kadmium bestehenden Kathode werden Kristalle gebildet, die die Leistung des Akkus reduzieren.

Der Memory-Effekt kann durch eine absichtliche Tiefentladung »gelöscht« werden. In modernen Akkus zeigt er sich nur noch selten.

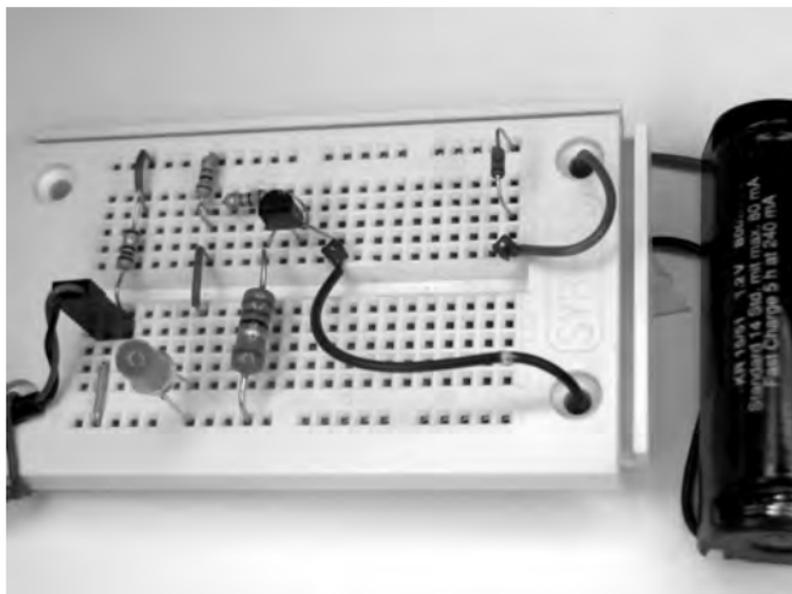


Abb. 030: Steckbrettaufbau: Laden mit Konstantstrom

Den Spannungsteiler, bestehend aus R2 und D2, sowie den Basiswiderstand R4 kann man auch verändern. Dadurch wird sich der konstante Ladestrom verändern. So kann man zunächst mit R4 experimentieren, d. h. den 1-k-Widerstand (R4) durch den 2,2-k-Widerstand des Lernpakets austauschen, und erhält damit einen geringeren Ladestrom zum Akku.

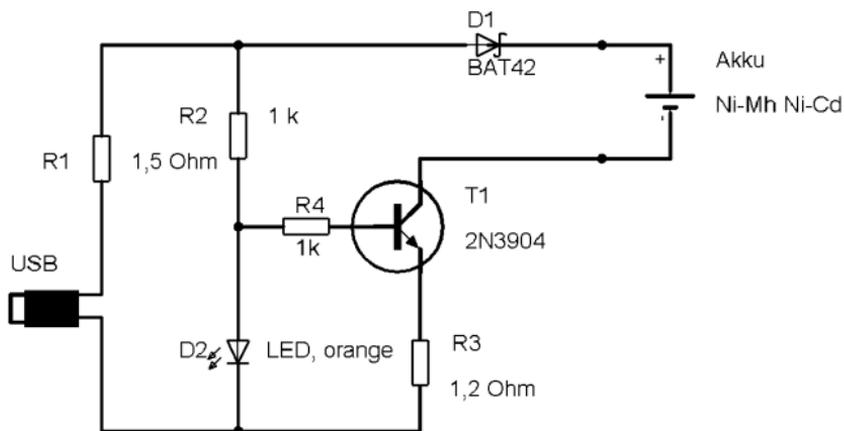


Abb. 031: Schaltbild des Konstantstromladers

9 Impulsladen

Versuchsaufbau: USB-Kabel, Steckbrett, Blink-LED, LED orangefarben, Diode 1N 4001, Transistor T1 2N3904, Transistor T2 N3906, Widerstand 10 Ω , 2 Widerstände 1 k, Akkuhalter, Akku AA Mignon oder AAA Mikro

Durch die Impulsladung wird der Memoryeffekt auch bei älteren Akkuzellen weitgehend verhindert. Kurze Stromstöße laden die Akkuzelle. Der Akku wird je nach Beschaltung schneller oder langsamer aufgeladen, und es lassen sich teilweise auch ältere Akkus regenerieren.

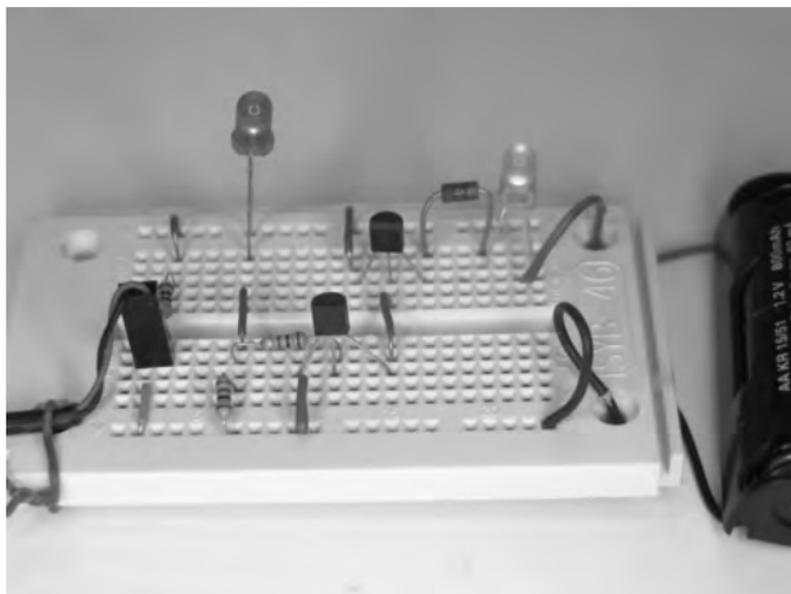


Abb. 032: Versuchsaufbau für die Impulsladung; beide Transistoren sind so eingesteckt, dass die Typenbezeichnung vom Betrachter aus gesehen lesbar ist. Der obere Transistor ist T2 (2N3906), die linke LED ist die Blink-LED.

Die Blink-LED bildet zusammen mit dem Widerstand R2 einen Spannungsteiler und gibt die Impulse an die Basis von Transistor T1. T1 steuert über die Kollektor-Emitter-Strecke den Basiseingang des Transistors T2. Dieser gibt als Längstransistor den Stromfluss zum Akku frei. Die orangefarbene LED zeigt durch ihre blinkende Helligkeit an, ob und wie viel Strom zum Akku fließt.

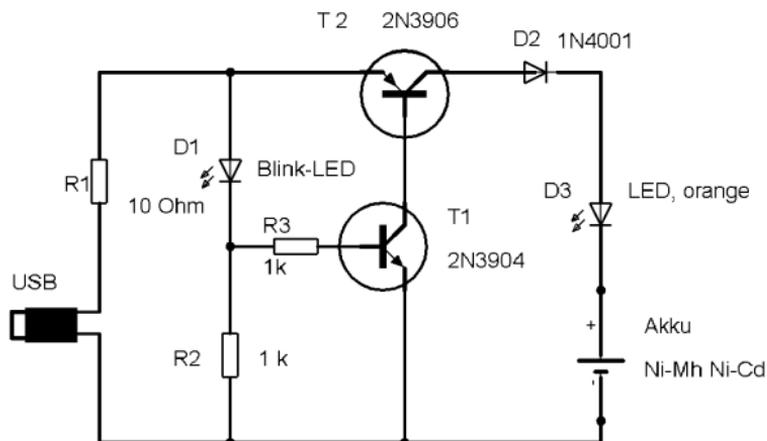


Abb. 033: Schaltbild Impulsladung

Wenn ein Multimeter zur Hand ist, kann man die pulsierende und ansteigende Akkuspannung beobachten. Wird die Diode D2 überbrückt, geht der Ladevorgang schneller (mehr Ladestrom), allerdings auf Kosten der Lebensdauer der orangefarbenen LED.

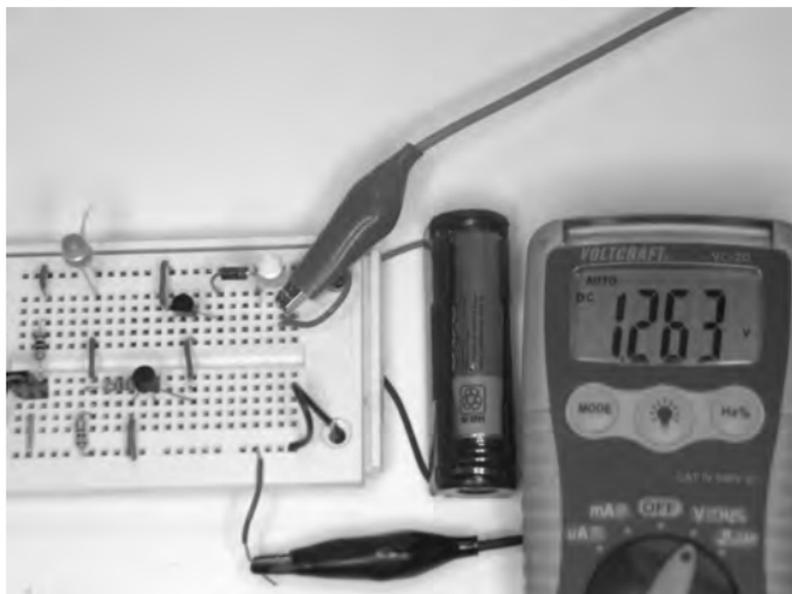


Abb. 034: Anordnung zum Messen der Impulsladung mit einem Multimeter

10 Nickel-Zink-Zelle laden

Versuchsaufbau: USB-Kabel, Steckbrett, rote LED, orangefarbene LED, Widerstand 100Ω , Akkuhalter, Akku AA Mignon oder AAA Mikro.

Eine ganz alte und gleichzeitig neuere Entwicklung auf dem Akku-markt ist die Nickel-Zink-Zelle (NiZn). Der Vorteil dieses Zellentyps ist eine höhere Zellspannung von ca. 1,6 V. Somit ist sie als Ersatz von Einwegbatterien (1,5 V) besser nutzbar. Gerade bei Elektronikgeräten, die für nur eine oder zwei Batteriezellen vorgesehen sind, sind die NiMh-Zellen oft zu schnell unterhalb der erforderlichen Betriebsspannung. Dadurch kann die Kapazität nicht vollständig genutzt werden.

Interessant ist, dass die Kapazität beim NiZn-Akku nicht mehr in Milliampere, sondern in Milliwattstunde angegeben wird.

Die Spannung einer frisch geladenen NiZn-Zelle liegt bei ca. 1,8 V und die Entladeschlussspannung, je nach Strombelastung, bei etwa 1,2 V. Da die Zellenart noch jung ist, gibt es bisher wenig Erfahrungen mit der Zyklenzahl.

Akkuzyklen bedeutet, wie oft die Akkuzelle vollständig be- und entladen werden kann, bevor sie unbrauchbar ist.



Abb. 035: Profi-Ladegerät Nickel-Zink, für AA und AAA-Zellen

Die erforderliche Ladetechnik für die NiZn-Akkus ist im Prinzip einfach und ähnelt der Ladetechnik von Bleiakku. Prozessorgesteuerte Ladegeräte bieten einen höheren Sicherheitsstandard und einen bessern Ladewirkungsgrad mit mehr Möglichkeiten bei der Lade- und Entladetechnik.

Das Ladep Prinzip

Es wird mit einer Strombegrenzung geladen, die etwa das 0,5- bis 1-fache der Akkukapazität beträgt (0,7 A bis 1,5 A beim AA-Typ). Die Ladeschlussspannung, d. h. die Spannung, wenn der Akku voll ist, beträgt ca. 1,9 V. Gleichzeitig geht der Ladestrom beim Ladeende auf unter 0,05 C (bei der AA-Zelle 75 mA) zurück.

Die spezifische Energiedichte beträgt ca. 50 Wh/kg, das ist in etwa gleich wie bei den NiCd-Akkus, aber geringer als beim NiMh- und dem Li-Akku.

C steht dabei für die Kapazität des Akkus, normalerweise in Milliamperestunden (mAh).

Ein einfaches Experimentier-USB-Ladegerät, mit dem die NiZn-Akkuzelle geladen werden kann, zeigt Abb. 036 als Steckbrettaufbau. Als Akkuzelle wird der kleinere AAA-Mikro-Akku mit 550 mAh verwendet.

Wichtig beim Schaltungsaufbau für ein einfaches Ladegerät ist, dass die Ladeendspannung auf max. 1,9 V stabilisiert/begrenzt wird. Wenn der zum Laden verwendete Strom niedriger ist, ist dies unproblematisch, der Ladevorgang dauert lediglich länger. Bei vielen Akkutypen ist eine sanftere Ladung (mit geringerem Strom) eher von Vorteil und trägt zu mehr Ladezyklen bei. Schnellladegeräte laden Akkus in möglichst kurzer Zeit.

Auf den Akkuverpackungen und dem Akkugehäuse der NiZn-Akkus gibt es die Ladeempfehlung:

AA Mignon: 12-15 Stunden mit 150 mA, schnellladefähig

AAA Mikro: 12-15 Stunden mit 55 mA, schnellladefähig

Bei der vorgestellten Ladeschaltung wird die Ladeendspannung durch die orangefarbene LED realisiert. Diese LED zeigt gleichzeitig auch den Ladezustand an. Wenn der Akku leer ist, leuchtet die LED nicht, wenn er mehr Ladung hat, leuchtet sie hell. Der Strom wird durch den Widerstand R1 und die rote LED geregelt.

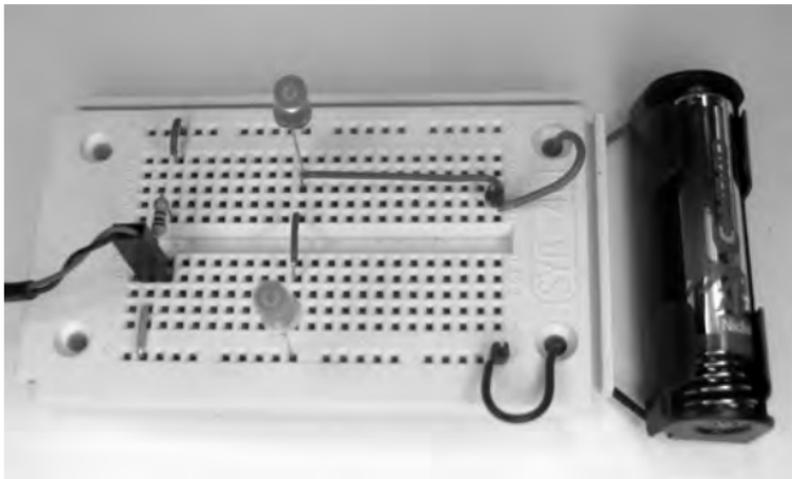


Abb. 036: Steckbrettaufbau, Ladeschaltung NiZn-Akku

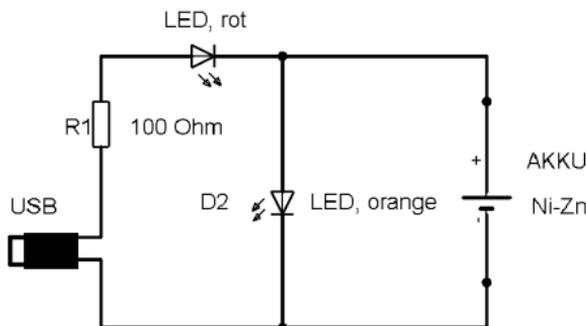


Abb. 037: Schaltbild

Die Selbstentladung der NiZn-Zellen findet abhängig von der Umgebungstemperatur statt, erfahrungsgemäß im Bereich von ca. 5-7 %.

11 Lithium-Akku Laden

Versuchsaufbau: USB-Kabel, Steckbrett, rote LED, 2 Dioden 1N 4001, Widerstand 1 k, Kabel mit Krokodilklemmen rot und schwarz, Lithium-Akku.

Die meisten Mobiltelefone und Smartphones, Notebooks und Tablet-PCs arbeiten mit Lithium-Polymer(LiPo)- oder Lithium-Ionen(Li-Ion)-Akkus.

Dieser Akkutyp hat bei geringem Gewicht eine hohe Energiedichte. Die Akkus sind auswechselbar oder fest eingebaut (eingelötet). Ein Problem ist, dass es bei dieser Akkuform viele unterschiedliche Ausbildungsformen gibt (flach, rund, eckig usw.), keinen einheitlichen Standard wie bei den Einwegbatterien (z. B. Mignon- und Mikrozellen).

Die Energiedichte liegt bei 95-400 Wh/l, je nach den verwendeten Materialien und Nutzung. Wird der Akku nur zum Teil ge- und dann

wieder teilweise entladen, wird die Anzahl der möglichen Ladezyklen stark erhöht. Gleichzeitig sinkt dadurch die nutzbare Energiedichte.

Die Ladungsart ist weniger kompliziert als oft angenommen und sieht im Prinzip wie folgt aus: Wenn der Akku sehr tief entladen wurde, sollte mit einem sehr niedrigen Ladestrom begonnen werden. Im normalen Ladevorgang kann die Zelle aber mit konstantem maximalen Strom im Bereich von 0,5-1 C geladen werden.

Die Ladeschlussspannung beträgt je nach Typ 4,1-4,2 V und sollte auf gar keinen Fall überschritten werden. Es dient der Langlebigkeit des Akkus, wenn die Ladeschlussspannung eher etwas niedriger gehalten wird. Sinnvoll sind 3,9-4,0 V (je nach Akkutyp).

Natürlich können LiPo- und Li-Ion-Akkus auch mit einem geringeren Ladestrom geladen werden. Auch dadurch erhöht sich die erreichbare Zyklenzahl (die Anzahl der Lade- und Entladevorgänge).

Vollständig geladen (voll) ist der Akku bei einer Ladeschlussspannung von 4,1-4,2 V, gleichzeitig sinkt dann der Ladestrom bis auf etwa C/10. Das ist auch die technische Messauswertung für automatische Ladegeräte, die Ladung zu beenden.

Hinweis zur Entladung

Die Entladeschlussspannung darf auf gar keinen Fall unter 2,5 V gehen, andernfalls wird die Akkuzelle zerstört. Das meist im Akku eingebaute Akkumanagement schaltet deshalb in der Regel bei 3,0 V ab.

Es ist empfehlenswert, Lithium-Akkus »sanft« zu (ent-)laden (nur bis ca. 30 %), da sich ihre Lebensdauer so verlängert.

Will man ein Ladegerät selbst bauen, ist die exakte Regelung der Ladeendspannung zwingend erforderlich. Eine stabilisierte Spannungsversorgung wird man normalerweise mit Festspannungsreglern aufbauen. Gleichzeitig gibt es auf dem Markt fertige Lade-ICs zur komfortablen und sicherheitstechnisch guten Ladung der Lithium-Akkus.

Wichtig

Für die folgenden Ladeexperimente wird dringend empfohlen, ausschließlich Lithium-Akkus mit integrierter Schutzelektronik zu verwenden. Das sind herausnehmbare Akkus, wie sie in Mobiltelefonen, Kameras usw. verwendet werden.

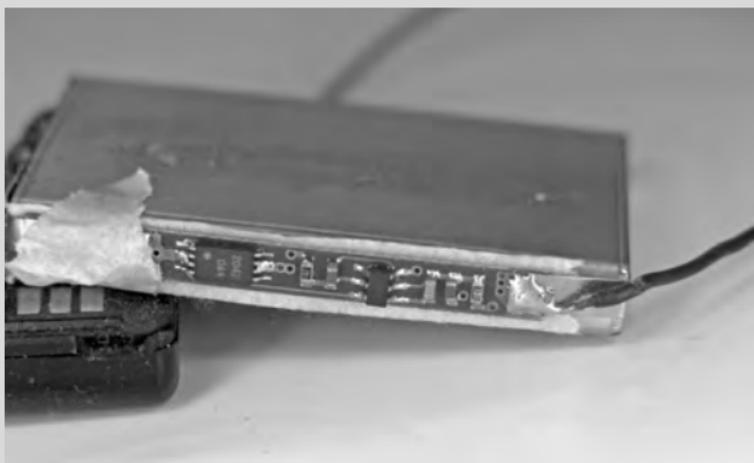


Abb. 038: Geeigneter Akku mit integrierter Sicherheits-/Schutzelektronik

Die integrierte Sicherheitselektronik sorgt dafür, dass der Akku weder überladen wird noch beim Entladen in Unterspannung kommt, und schaltet notfalls die Verbindung zu den Akkukontakten ab.

So kann man mit Akkus aus Mobiltelefonen problemlos experimentieren, solange die obere und untere Temperaturgrenze und der Maximalladestrom (1C) nicht überschritten werden.

Die Ladeschaltung zum Laden eines Lithium-Akkus mit der USB-Quelle wird mit einfachsten Komponenten auf dem Steckbrett aufgebaut. Es gilt, die Spannung, die durch die USB-Quelle auf 5 V stabilisiert ist, auf eine verträgliche Ladeendspannung von knapp 4 V zu reduzieren. Die LED sorgt mit einem geringen Stromverbrauch dafür, dass auch die Leerlaufspannung (ohne Akku) am Ausgang nicht über 4 V geht. Der Ladestrom wird ebenfalls durch die Komponenten geregelt und geht mit zunehmender Ladung/ Akkuspannung zurück. Auch wenn diese einfache Ladeschaltung funktioniert, handelt es sich hier um ein Ladeexperiment, und man darf dabei keinen Komfortlader erwarten.

Die Kontakte des Lithium-Akkus kann man mit den Krokodilklemmen anschließen. Je nach Akkutyp funktioniert das gut oder weniger gut. Am zuverlässigsten wäre es natürlich, zwei Kabel an die Goldkontakte anzulöten, sofern eine Lötausrüstung zur Verfügung steht. Andernfalls kann man auch den oberen Bereich des Akkus, da, wo die Kontakte sind, etwas vom Akkukörper abheben, sodass die Klemmen zwischen Kontaktleiste und Akkukörper Halt finden.



Abb. 039: Klemmverbindung mit den Akkukontakten

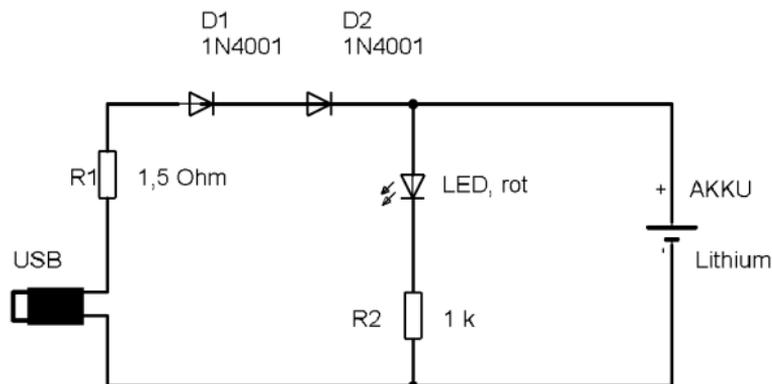
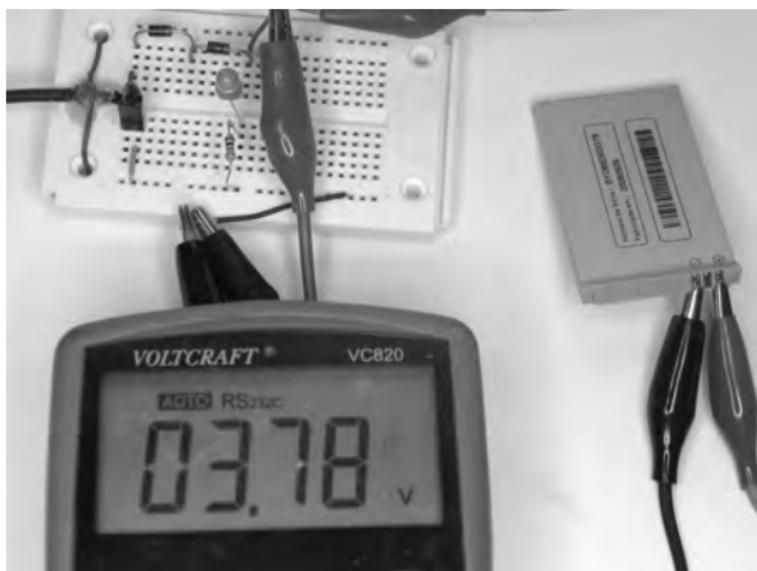
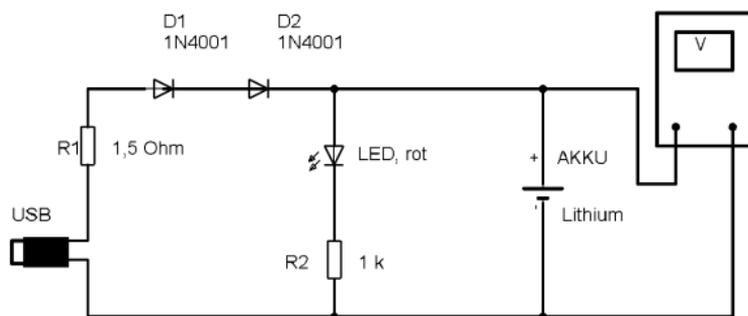


Abb. 040: Schaltbild einfacher Lithiumlader

Wenn ein Multimeter zur Hand ist, kann man entweder die steigende Akkuspannung oder den Ladestrom messen.



a)



b)

Abb. 041: a) Akkulation und Überwachung durch das Multimeter.

b) Der Schaltplan dazu

12 Laden überwachen

Es gibt mehrere Möglichkeiten, die Leistungswerte rund um den zu ladenden Akku feststellen:

- Anzeige mit LEDs
- Messungen mit einem Multimeter
- LCD-Anzeigen
- Messung und Auswertung mit dem PC

Mit Leuchtdioden lassen sich einfache Messaufgaben (z. B. die Polaritätsanzeige) oder grundsätzliche Funktionsanzeigen (z. B. ob Ladestrom fließt oder nicht) gut erledigen. Wenn detaillierte Messangaben erwünscht sind, ist ein Multimeter eine gute Hilfe. Im Lernpaket werden einfache Messungen und Funktionsanzeigen mit LEDs realisiert. Wer ein Multimeter zur Hand hat, kann dieses zusätzlich nutzen.

12.1 Akkutankanzeige

Versuchsaufbau: Steckbrett, USB-Kabel, Blink-LED, LED orangefarben, Diode 1N4001, Widerstand 1 k, Lithium-Akku

Ist der Energiespeicher nun leer, halb voll oder voll? Dazu brauchen wir eine Anzeige, ähnlich wie beim Kfz die Tankanzeige, nur dass eine aussagekräftige Tankanzeige für den Ladezustand des Akkus sehr viel komplizierter ist. Der Ladezustand ist von vielen Faktoren wie Ladeart und Entladeart, Kapazität usw. abhängig. Es gibt aber noch eine ganze Reihe weiterer Faktoren wie z. B. Betriebstemperatur, Alter des Akkus (Lebenszeit) und einige mehr, die den Ladezustand weiter beeinflussen können.

Um alle Faktoren in den Griff zu bekommen, gibt es raffinierte Überwachungselektroniken mit Mikroprozessoren und aufwendiger Software.

Mit den Teilen Ihres Lernpakets können Sie eine einfache Ladezustandsanzeige aufbauen, um das Grundprinzip zu erfahren.

In Abb. 042 sehen Sie den Versuchsaufbau einer sehr einfachen Ladezustandsanzeige. Nach dem Aufbau der Komponenten zuerst den Lithium-Akku mit den Krokodilklemmen an das Steckbrett anschließen. Dann leuchtet die orangefarbene LED. Sobald der USB-Stecker in das USB-Netzgerät gesteckt wird, wird der Akku mit ca. 200 mA geladen. Kurze Zeit später beginnt die Blink-LED zu blinken und zeigt an, dass der Akku die Spannung um die 4 V erreicht hat. Die Blink-LED blinkt zuerst langsamer und dann schneller. Das ist das Zeichen, die Ladung sofort zu beenden. Ein komfortables Ladegerät würde dies dann automatisch machen.

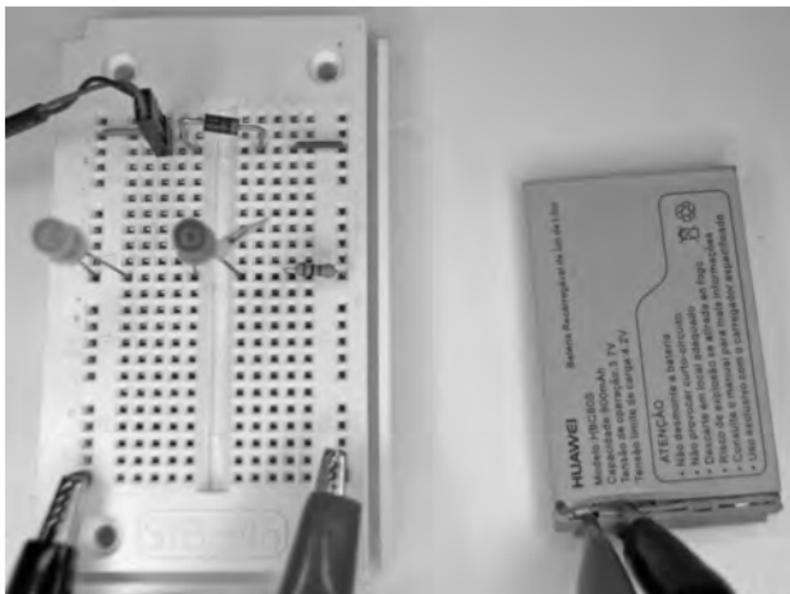


Abb. 042: Versuchsaufbau einer einfachen Ladezustandsanzeige

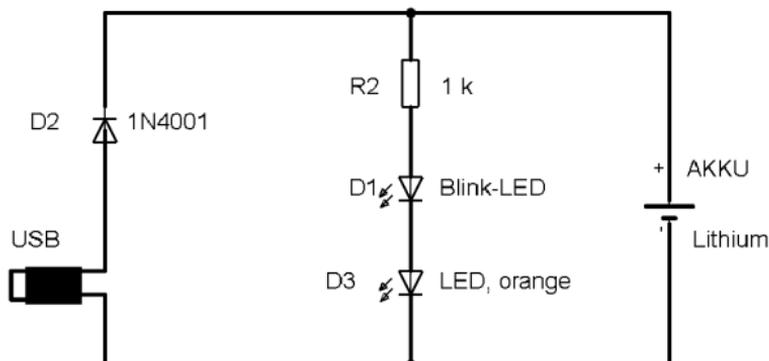


Abb. 043: Schaltbild der Ladezustandsanzeige

Die einfache Akkutankanzeige wird nach wie vor über die Spannungsmessung des Akkus realisiert. Ein Fortschritt wäre, die Spannungsmessung unter Last (Stromentnahme aus dem Akku) durchzuführen. Die Last sollte dabei einen Stromverbrauch von etwa 10 % der Kapazität des Akkus haben und könnte im Moment der Messung durch einen Taster aktiviert werden.

13 Akkus testen

Jeder kennt das: Man hat Akkus für die verschiedensten Anwendungen in der Schublade liegen, und nun ist die Frage, wie viel noch drin ist. Das ist vor allen dann wichtig, wenn mehrere Akkus verwendet werden, denn ein elektronisches Gerät funktioniert nur dann, wenn alle Akkus ausreichend geladen sind. Nur die Spannung zu messen, sagt zu wenig über die »Belastungsfähigkeit« des Akkus aus.

Abb. 044 zeigt einen einfachen Akkuprüfer mit Drehspulinstrument und einer Glühbirne (1,5 V) als Belastungswiderstand – der Vorteil der Glühbirne ist ein gutes visuelles Signal, das die Leistungsfähigkeit des Akkus zeigt.

Als Alternative zur Glühbirne kann auch ein Belastungswiderstand von $10\ \Omega$ verwendet werden. Der Belastungsstrom für den Akku beträgt dann ca. 150 mA.



Abb. 044: Einfacher Akkuprüfer (Selbstbauteurgerät) für AA- und AAA-Akkuzellen mit Drehspulinstrument und Glühbirne (1,5 V) als Belastungswiderstand

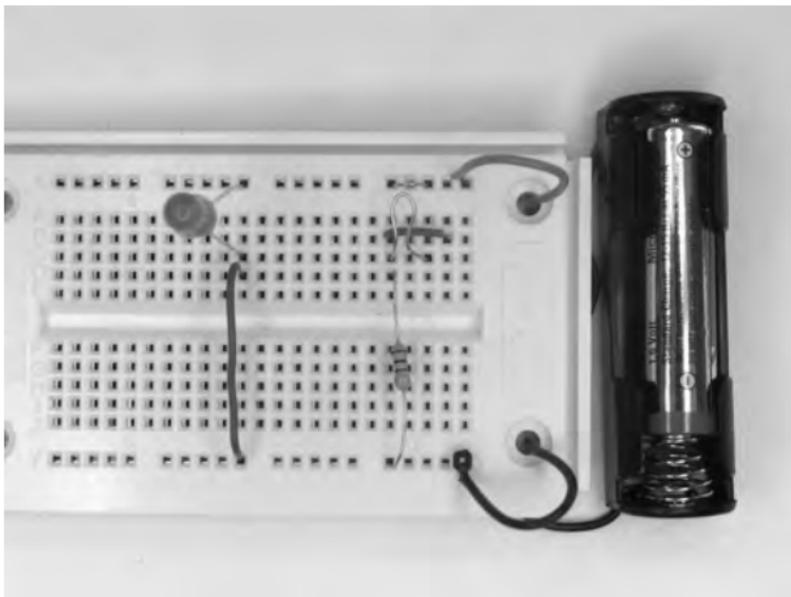
Nachfolgend werden Akkuzustands-Testschaltungen für Nickel-Zink-Zellen vorgestellt.

13.1 Test mit niedrigem Strom

Versuchsaufbau: Steckbrett, rote LED, Widerstand 100 Ω , Akkuhalter, NiZn-Akku, Mikro AAA.

Die Tests können auch mit anderen Akkutypen durchgeführt werden, sofern ein Multimeter zur Hand ist, mit dem die Akkuspannung unter Last angezeigt werden kann.

Der Test mit niedriger Strombelastung ist auch für ältere Akkus, die frisch aufgeladen wurden, meist kein großes Problem. Als Tastschalter für den Akkutest wird ein Stück Draht abisoliert und, wie in der Abbildung zu sehen ist, in die Kontakte des Steckbretts montiert.



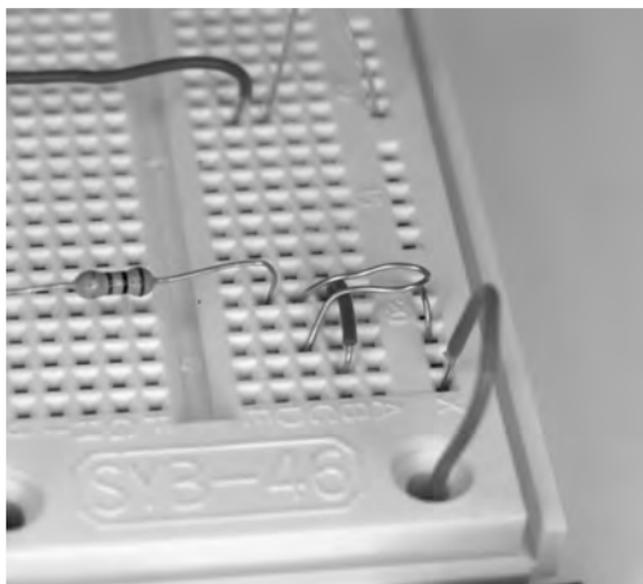
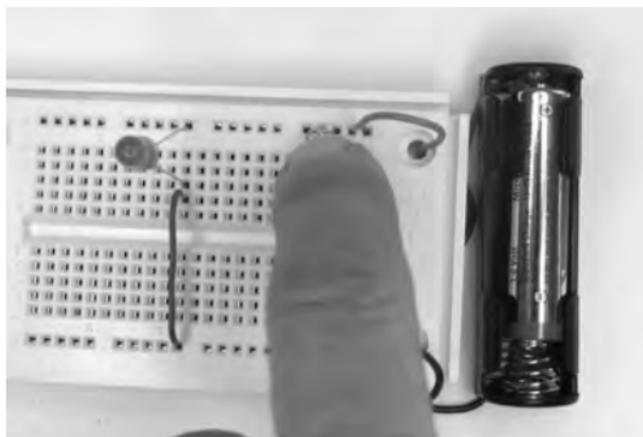


Abb. 045: Steckbrettaufbau für den Akkutest

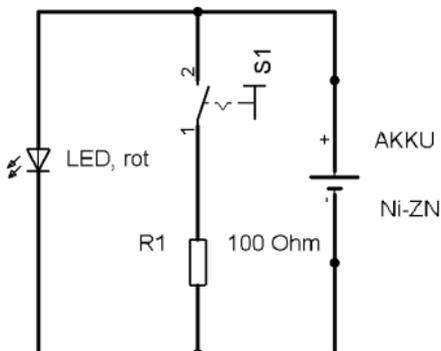


Abb. 046: Schaltbild

Den Akku in den Batteriehalter einlegen; wenn die Akkuzelle voll geladen ist, leuchtet die LED. Nun den Taster drücken. Die LED wird geringfügig dunkler. Mit dem 100- Ω -Widerstand fließen etwa 15 mA Belastungsstrom. Das ist für den Akku mit Leichtigkeit zu leisten, daher sinkt die Akkuspannung auch nur geringfügig.

13.2 Test mit hohem Strom

Versuchsaufbau: Steckbrett, rote LED, Widerstand 1,2 Ω , Akkuhalter, Akku

Die Tests können auch mit anderen Akkutypen durchgeführt werden, sofern ein Multimeter zur Hand ist, mit dem die Akkuspannung unter Last angezeigt werden kann.

Der Test mit höherem Stromfluss stellt für den Akku eine höhere Herausforderung dar. Dabei ist darauf zu achten, mit welchem Entladestrom der Akku maximal belastet werden darf, ohne dass er Schaden nimmt. Bei Lithium-Akkus ist es meist ein Strom in Höhe der doppelten Kapazität, bei Nickel-Zink-Akkus lautet die Empfehlung: nicht tiefer als bis zur Spannung von 1,2 V entladen und maximal mit 1C entladen. Das bedeutet für den AA-Mignon-Akku

einen maximalen Strom von 1,5 A und für die kleinere AAA-Zelle etwa 550 mA maximalen Entladestrom.

Nun wird der Widerstand R1 ausgetauscht. Anstatt des 100- Ω -Widerstands kommt nun der 1,2- Ω -Widerstand in das Steckbrett. Wenn jetzt der Draht-Taster gedrückt wird, geht die LED aus. Der Belastungsstrom beträgt, wenn man ihn mit der Formel $R = U / I$ errechnet, ca. 1 A und mit dem Multimeter gemessen um die 0,5 A.

Das praktische Messergebnis kann von vom errechneten Wert abweichen. Das liegt an den Steckbrettkontakten, Akkuhalterkontakten, Kabeln, Innenwiderstand des Akkus usw.

Wenn der Taster wieder losgelassen wird und der Akku gut geladen war, leuchtet die LED wieder wie zuvor. Wenn nicht, ist es gut, den Akku zu laden. Dann hat er den Belastungstest nicht bestanden.

Mit dem Multimeter kann man es nachmessen: Ohne Belastung hat die NiZn-Akkuzelle z. B. 1,75 V, unter Belastung sinkt die Spannung auf 1,3 V.

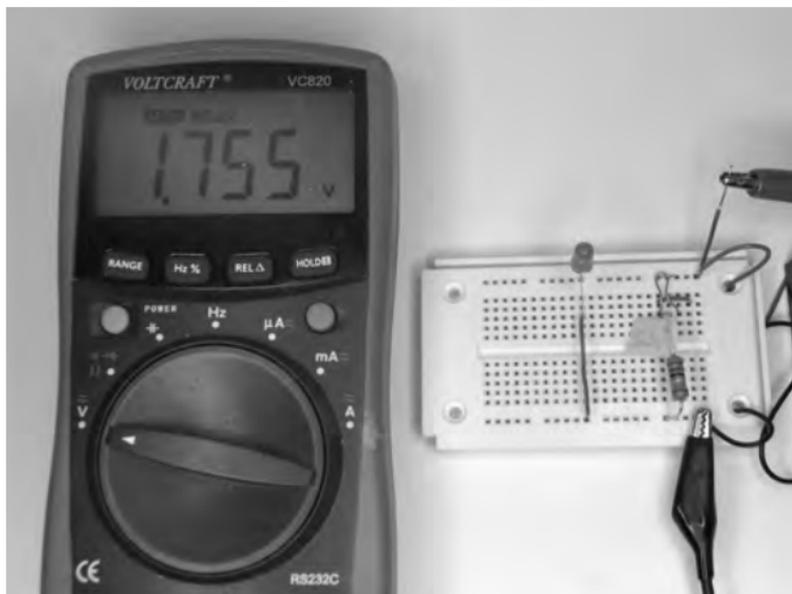


Abb. 047: Steckbrettaufbau

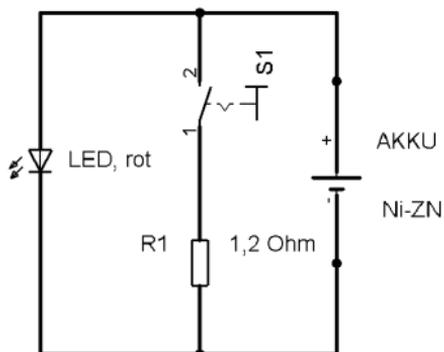


Abb. 048: Schaltbild

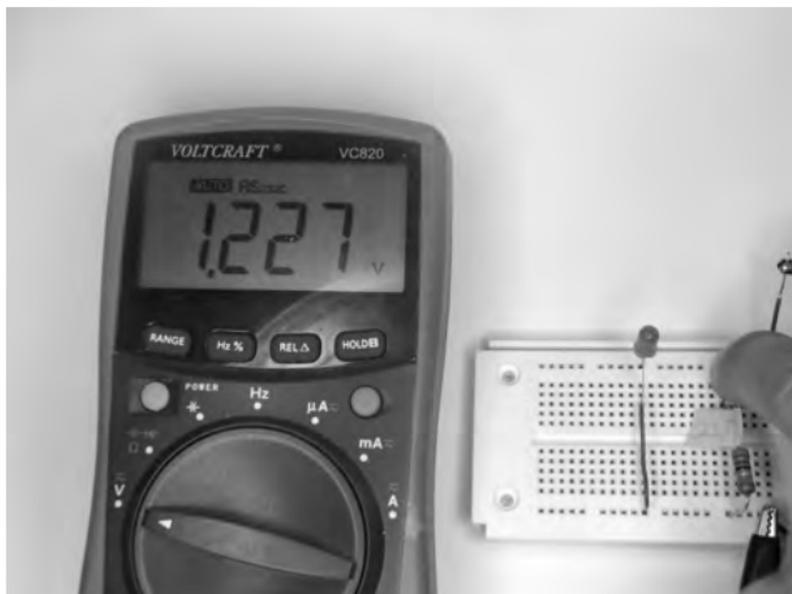


Abb. 049: Messaufbau mit Multimeter

Akkuwirkungsgrade

Der Akkutowirkungsgrad sagt aus, wie viel reingeladen wurde und wie viel davon man wieder aus dem Akku entnehmen kann. Die Wirkungsgrade der unterschiedlichen Akkutypen schwanken stark im Bereich von ca. 70-90 %.

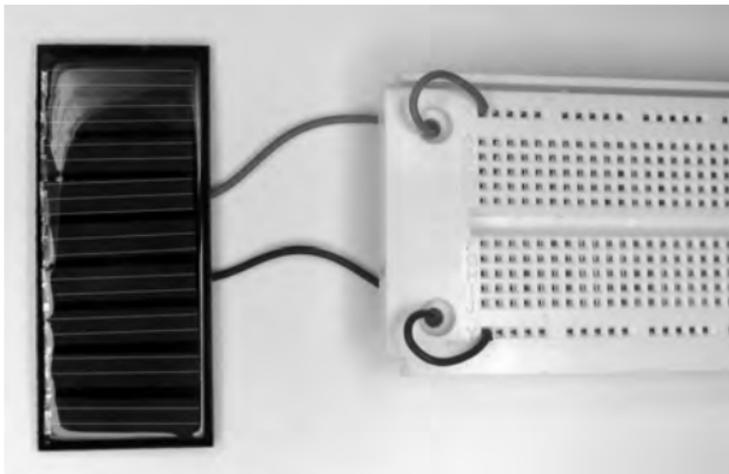
14 Akku und Solarmodul

Versuchsaufbau: Solarmodul, Steckbrett, Steckstifte, Widerstand 100Ω , rote LED

Die Vorderseite des ungebrauchten Solarmoduls ist mit einer Folie geschützt. Diese zuerst abziehen.

Auf der Rückseite des Moduls befinden sich zwei Lötanschlüsse mit angelöteten Kabeln. Das Modul liefert Gleichstrom. Somit gibt es wie bei einer Batterie ein rotes Kabel, den Pluspol, und ein schwarzes Kabel, den Minuspol. Schieben Sie die Kabel durch die Bohrungen des Steckbretts (Zugentlastung) und schließen Sie dann das schwarze und das rote Kabel an das Steckbrett an. Es wird empfohlen, in die untere Schiene den schwarzen Anschluss und die obere Schiene den roten Anschluss einzustecken.

Das Solarmodul kann für die nachfolgenden Experimente angeschlossen bleiben.



a)

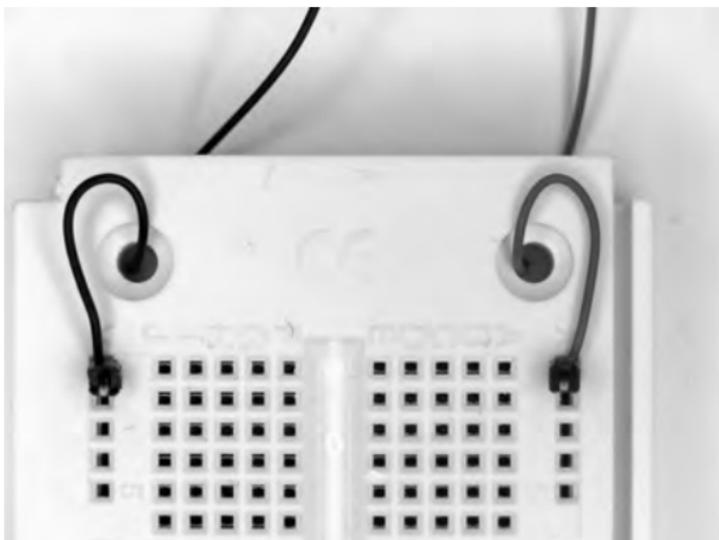


Abb. 050: a) Die Anschlussleitungen des Solarmoduls an das Steckbrett anschließen. b) Mit den Steckstiften können die Kabel zusätzlich gesichert werden.

Positionieren Sie das Solarmodul so, dass ausreichend helles Licht, bevorzugt Sonnenlicht, darauffällt.

Für den Fall, dass während der Experimente die Sonne nicht scheint, geht als Ersatz eine helle Schreibtischleuchte z. B. mit einer Halogenbirne (mindestens 30 W). Energiesparlampen und LED-Lampen sind nicht geeignet.

Nun stecken Sie die Anschlüsse der roten LED und den Vorwiderstand 100Ω ins Steckbrett. Der längere Anschluss der Leuchtdiode ist mit der +»Seite« zu verbinden. Je nach Bestrahlungsintensität leuchtet die Leuchtdiode mehr oder weniger hell. Wenn die LED nicht leuchtet, ist entweder zu wenig »Lichtenergie« vorhanden oder die LED wurde mit falscher Polungsrichtung angeschlossen.

Blinkt die Leuchtdiode, haben Sie versehentlich die blinkende LED verwendet.

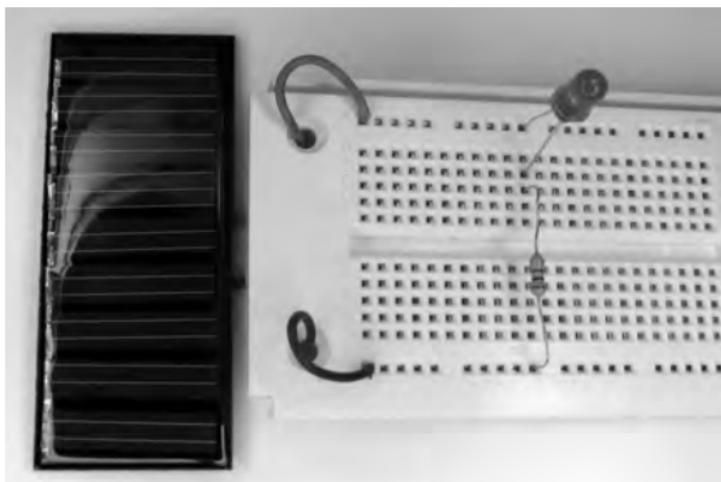


Abb. 051: Steckbrettaufbau; einfacher Funktionstest mit der roten Leuchtdiode

Solarmodul

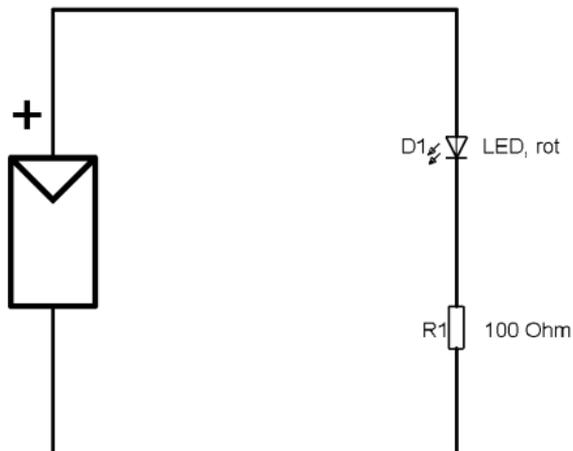


Abb. 052: Schaltbild

Diesen Versuch können Sie mit unterschiedlichen Lichtquellen durchführen, z. B. mit der direkten Sonne, einer Halogenlampe, einer Glühlampe, einer Taschenlampe, einer Energiesparlampe, einer Leuchtstofflampe usw. Man kann an der Helligkeit, in der die LED leuchtet, erkennen, dass es geeignete und weniger geeignete Lichtquellen gibt. Dieses Experiment ist wichtig, damit Sie für die nachfolgenden Experimente über die geeignete Beleuchtung Bescheid wissen.

14.1 Akkus mit Solarenergie laden

Versuchsaufbau: Solarmodule, Steckbrett, LED rot, Akkuhalter, Akku

Wenn ausreichend Sonnenschein zur Verfügung steht, macht es viel Freude, mit dieser Energie Akkus zu laden. Der Strom ist kostenfrei, und man ist unabhängig von einer Steckdose.

Mit dem Solarmodul des Lernpakets können alle bisher beschriebenen Akkutypen, wie NiMh, NiCd, NiZn, Li-Ion und LiPo aufgeladen werden.

Das Solarmodul hat auch einen großen technischen Vorteil. Sowohl für die Strombegrenzung als auch für die maximale Ladespannung braucht es in der Regel keine weiteren Bauteile, sofern das Solarmodul auf die Leistungsbedingungen des Akkus abgestimmt wurde. So kann das Solarmodul aus dem Lernpaket – das bei vollem Sonnenschein ca. 35 mA Strom und eine maximale Spannung von 4,5 V liefert, gefahrlos die aufgeführten Akkutypen laden und auch dafür sorgen, dass eine eventuelle Selbstentladung automatisch ausgeglichen wird (Ladungserhaltung).

Die Verhältnismäßigkeit von Solarmodul und Akku ändert sich bei »größeren« (leistungsfähigeren) Solarmodulen, die mehr Strom und höhere Spannung liefern können. Dann ist eine Ladestrombegrenzung und/oder eine Ladeelektronik dringend erforderlich, andernfalls wird der Akku geschädigt oder zerstört.

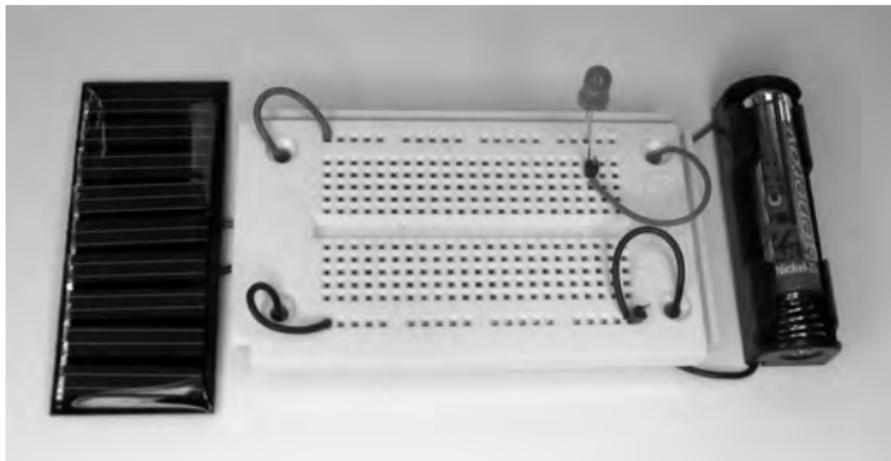


Abb. 053: Steckbrettaufbau: einfacher Solarlader mit LED als Ladeanzeige

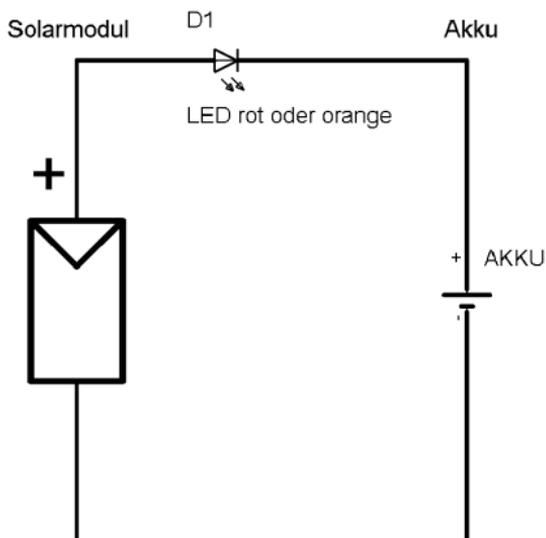


Abb. 054: Schaltplan; Ladestromanzeige mit einer LED

Im Ladestromkreis kann sowohl die rote als auch die orangefarbene LED verwendet werden. Bei der orangefarbenen LED ist der Ladestrom etwas höher.

14.2 Solarlader - was es zu beachten gilt

Versuchsaufbau (wie zuvor): Solarmodule, Steckbrett, LED, Akkuehalter, Akku

Je nach Akkutyp gibt es eine Reihe von Möglichkeiten, die Solarmodule so zu konfigurieren, dass der Akku optimal geladen wird. Durch die Anzahl der Solarzellen in Reihe ergibt sich die maximale obere Ladespannung. Durch die Größe und die Qualität der Solarzellen wird der maximale Ladestrom bestimmt. Natürlich ist der Ladestrom auch abhängig von der Strahlungsenergie der Sonne.

Bei kleineren NiCd- und NiMH-Akkus ist es eine einfache Möglichkeit, dies über den maximalen vom Solarmodul kommenden Ladestrom zu regeln.

Bleisäure- und Bleigelakkus hingegen werden in einfachster Variante über die Höhe der Ladeendspannung geregelt.

Ein »großer« Solarbleiakku mit 12 V Akkuspannung kann somit ohne Probleme an einem Solarmodul mit einer maximalen Zellenspannung (Leerlaufspannung) von 15 V geladen werden. Die Ladekurve regelt sich dann von selbst. Je höher die Ladespannung des zu ladenden Akkus ansteigt, desto geringer wird der Ladestrom, den das Solarmodul liefert (automatische Anpassung). Diese Ladeart ist zwar praktikabel, aber nicht optimal für die vollständige Nutzbarkeit und die Lebensdauer der Akkus.

Beim Solarmodul ist die Ausrichtung entscheidend. Nehmen Sie das Solarmodul zwischen Daumen und Zeigefinger (ohne die Oberfläche zu beschatten) und richten Sie die Oberfläche des Moduls möglichst rechtwinkelig zur Lichtquelle (Sonne) aus. Wann leuchtet die LED heller? Variieren Sie nun durch Hin- und Herbewegen des Solarmoduls die Ausrichtung zur Lichtquelle und beobachten Sie die LED. Je heller sie leuchtet, desto mehr Ladestrom fließt vom Modul in den Akku.

Je senkrechter die Lichtstrahlen auf das Solarmodul auftreffen, desto mehr Lichtenergie können die Solarzellen in elektrischen Strom umwandeln und desto mehr Ladestrom fließt vom Modul in den Akku.



Abb. 055: Experiment mit der Ausrichtung des Moduls zur Lichtquelle

15 Rückstromsperre verwenden

Experimentieraufbau: Solarmodul, Steckbrett, Elko 1.000 μF , Schottky-Diode, Widerstand 100 Ω , LED rot

Beim solaren Laden eines Akkus würde sich ohne Schutzdiode die Ladung nachts wieder über das Solarmodul »rückwärts« entladen. Daher muss eine Rückstromsperre in Form einer Diode eingefügt wer-

den. Die Diode funktioniert wie ein Ventil, das den Energiestrom nur in die eine Richtung zulässt und in die andere Richtung verhindert.

Um das Prinzip verdeutlichen, machen Sie das Experiment mit dem Elko 1.000 μF (den Akku dazu aus der Halterung entnehmen). Zusätzlich zum Stromspeicher Elko stecken Sie eine LED und einen Vorwiderstand in das Steckbrett. So kann man den Speichereffekt abhängig von der Rückstromdiode erforschen.

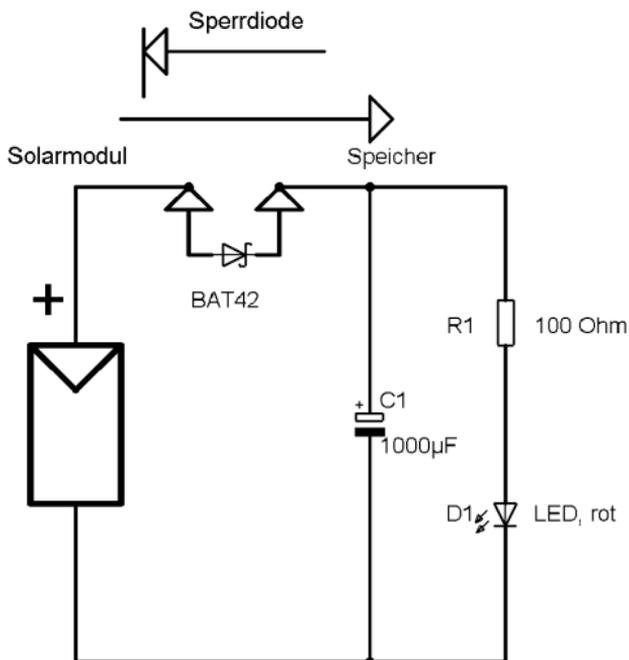
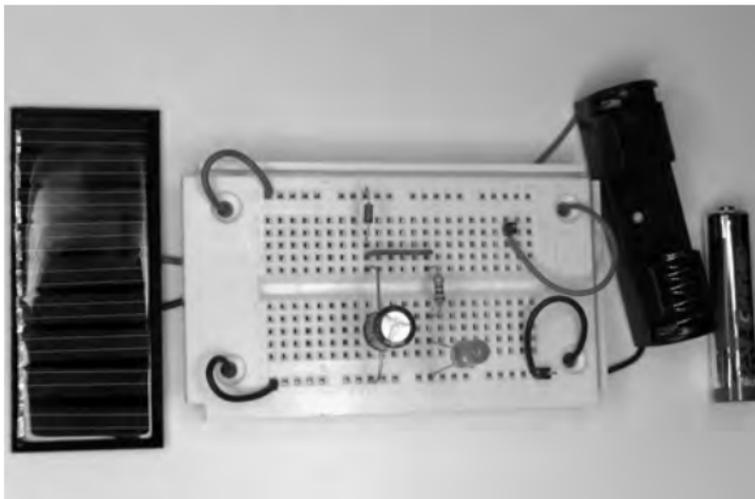


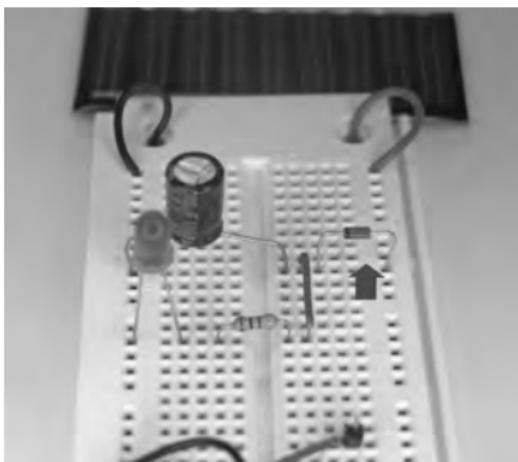
Abb. 056: Prinzip der Schaltung mit Sperrdiode

Drehen Sie einmal die Diode im Steckbrett herum - was passiert? Die LED leuchtet nicht mehr, da der vom Solarmodul kommende Strom gesperrt wird.

Sperrdioden verhindern die Entladung des Energiespeichers über die unbeleuchtete Solarzelle.



a)



b)

Abb. 057: a) Steckbrettaufbau, b) Detail. Die Sperrdiode ist rechts im Bild zu erkennen (Pfeil)

16 Laderegler einsetzen

Versuchsaufbau: Solarmodul, Steckbrett, rote LED, Elko 1.000 μF , Transistor T1 2N3906, Widerstand 2,2 k, Tastschalter, Akkuhalter, Akku

Bei Photovoltaik-Insulanlagen wird die gesamte Stromversorgung regenerativ gewonnen. Mithilfe des Akkuspeichers wird diese Energie für die spätere Nutzung aufbewahrt. Wichtig bei der Akkuladung ist ein Laderegler, der dafür sorgt, dass der Akku so voll wie möglich ge-, aber nicht überladen wird.

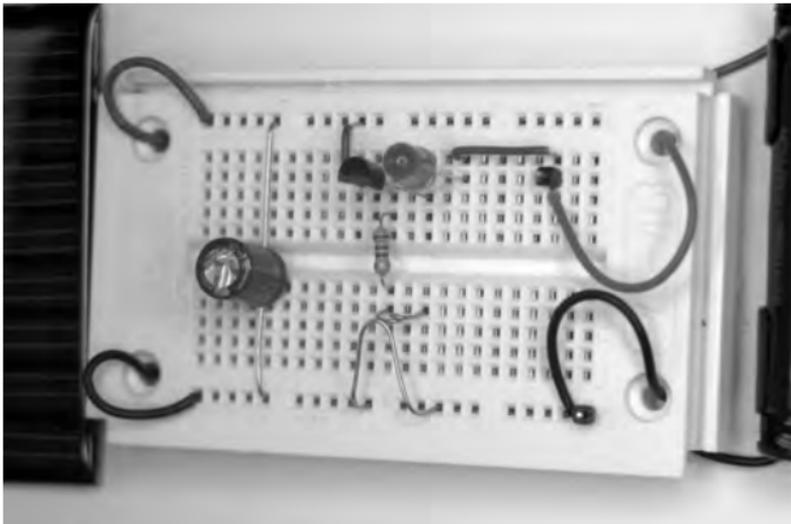


Abb. 058: Versuchsaufbau des Ladereglers auf dem Steckbrett

Die Steuerelektronik wird im Versuchsaufbau durch einen Drahttaster ersetzt, den Sie von Hand bedienen können. Der Längstransistor T1 wird über dessen Basis angesteuert und regelt über die Kollektor-Emitter-Strecke Ladestrom und Spannung. Die rote LED zeigt an, wenn Ladestrom fließt, und blitzt kurz auf, wenn der Taster gedrückt wird und Energie in den Akku fließt.

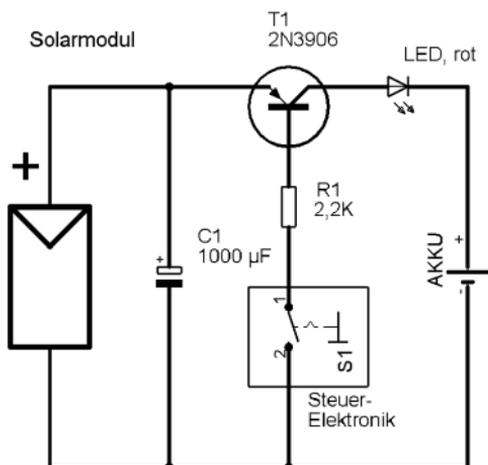


Abb. 059: Schaltbild
Laderegler

Mit dem auf dem Steckbrett aufgebauten Laderegler können Sie das Prinzip des seriellen Shunt-Reglers (Längsregler) nachvollziehen. Der für die Laderegelung verwendete Längstransistor regelt den vom Solarmodul zum Akku fließenden Strom und die Spannung. Die Regelung wird im Versuchsaufbau durch manuelles Takten (von Hand) des zugeführten Stroms (Taktlänge und Frequenz) mit dem Schalter S1 erreicht. Bei den automatischen Reglern findet dieses Takten elektronisch statt. Dann fließt mehr Strom, wenn die Pausen von einem Takt zum anderen kürzer werden und die Taktfrequenz erhöht wird. Während des Ladevorgangs erhält der Akku somit kurzzeitige Stromimpulse, die, je nach Ladespannungshöhe, kürzer oder länger sind (Pulsweitenmodulation). Die Regelung des Ladestroms wird beim Längsregler in Abhängigkeit von der Ladespannung des Akkus elektronisch gesteuert.

Ein weiterer Vorteil des Längstransistors ist, dass er verhindert, dass sich der geladene Akku nachts über das Solarmodul wieder »rückwärts« entlädt.

17 Solare Ladeüberwachung des Lithium-Akkus

Versuchsaufbau: Solarmodul, Steckbrett, Blink-LED, rote LED, orangefarbene LED, Schottky-Diode BAT 42, Elko 1.000 μF , Widerstand 1 k, Krokodilklemmen, Lithium-Akku

In Abb. 060 sehen Sie den Versuchsaufbau einer einfachen Ladeüberwachung beim solaren Laden des Lithium-Akkus. Die obere rote LED zeigt den fließenden Ladestrom an und leuchtet, solange der Lithium-Akku geladen wird. Die mittlere Blink-LED (»B«) in Verbindung mit der Diode und der orangefarbenen LED beginnt dann zu leuchten und zeigt somit an, wenn der Akku halb voll oder voll geladen ist. Da D1, D5 und die rote LED in Reihe geschaltet sind, blinkt die LED erst ab einer Spannung von ca. 3,8 V.

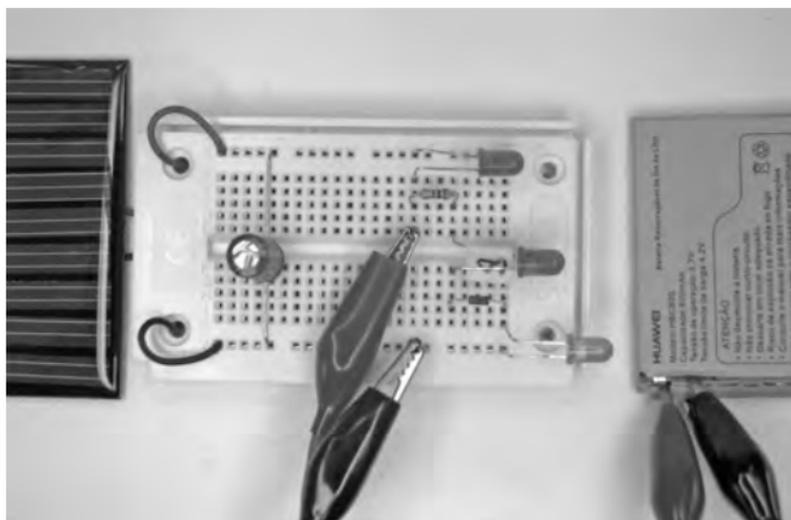


Abb. 060: Versuchsaufbau auf dem Steckbrett

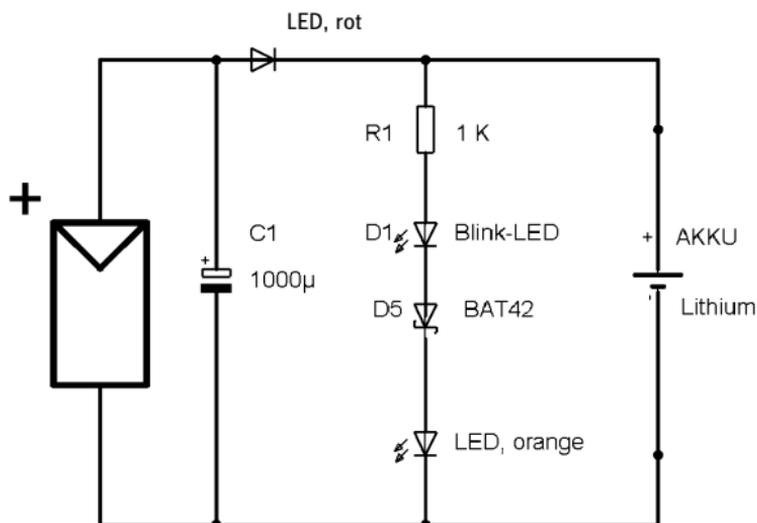


Abb. 061: Schaltbild der Ladezustandsanzeige

Die einfache Akkuladeüberwachung wird durch die Spannungsmessung des Akkus realisiert.

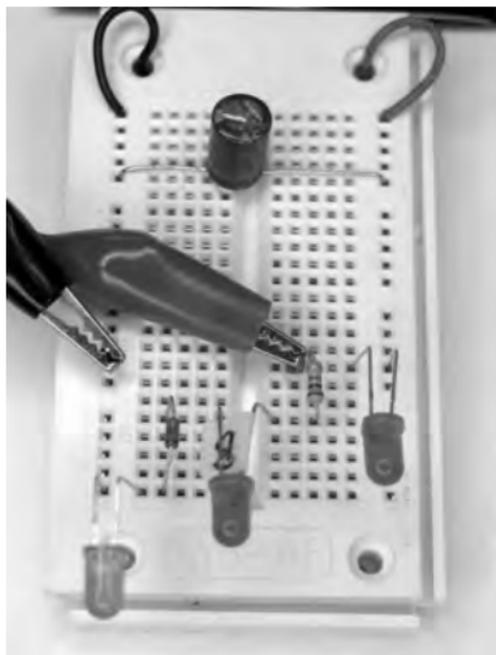


Abb. 062: Detail des Steckbrettaufbaus, mit den Krokokabeln ist der Lithium-Akku angeschlossen

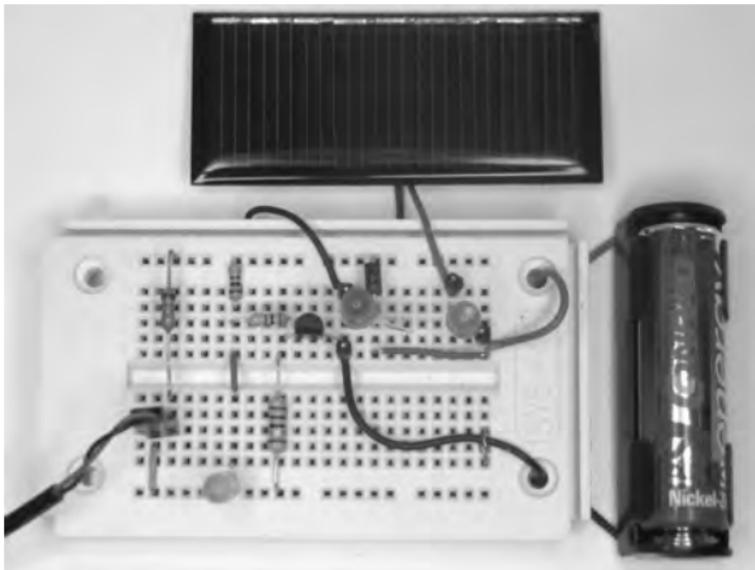
18 Kombilader, Laden und Ladung erhalten

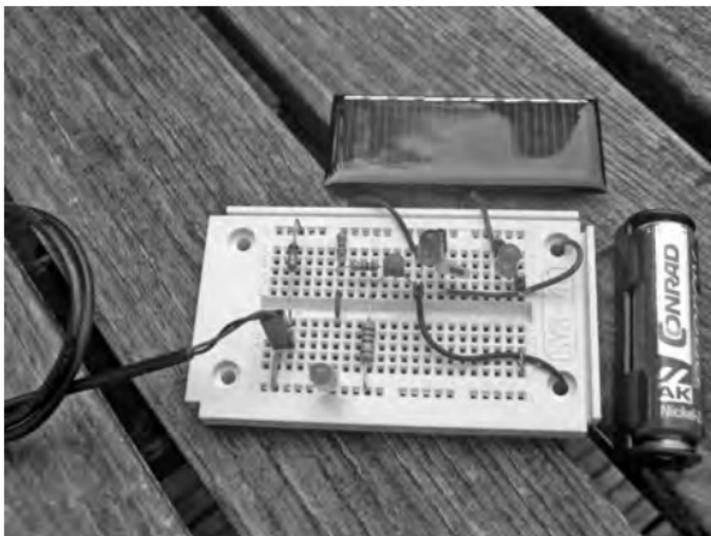
Versuchsaufbau: Solarmodul, Steckbrett, USB-Kabel, Blink-LED, rote LED, orangefarbene LED, Diode 1N 4001, Widerstand 1,5 Ω , Widerstand 1,2 Ω , 2 Widerstände 1 k, Transistor 2N3904, Akkuhalter, NiZn-Akku

Je nach Akkutyp gibt es eine mehr oder weniger hohe Selbstentladung. Wurde der Akku voll geladen, dann zwischengelagert und wird dann dringend gebraucht, ist es ärgerlich, wenn man ihn erst wieder aufladen muss.

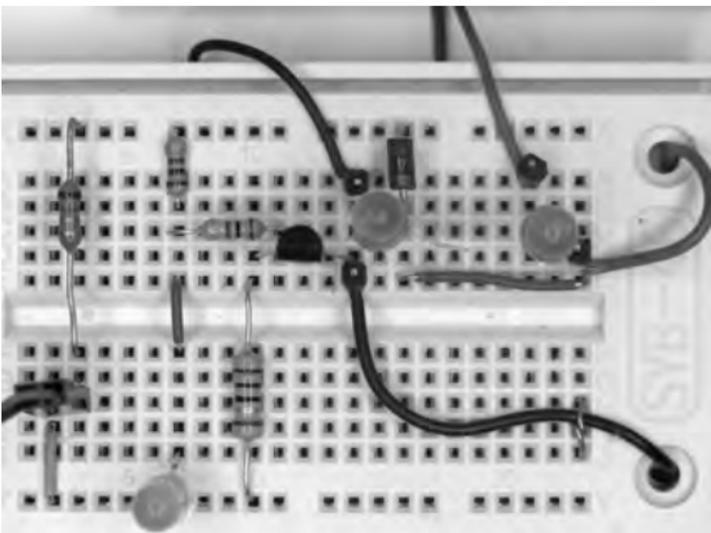
Nachfolgend wird eine Kombination aus einem USB-Netzladegerät zum zügigen Aufladen der Akkuzelle und einem Solarmodul (mit

kostenlosem Strom) für die sanfte Ladung oder auch die alternative solare Dauerladung aufgezeigt.





b)



c)

Abb. 063: a) Steckbrettaufbau, b) praktische Anwendung und c) Detail

Funktion: Wird der USB-Stecker mit der USB-Quelle verbunden, leuchtet die orangefarbene LED. Der Akku wird mit einem konstanten Strom von ca. 70-80 mA geladen. Ab einer Akkuspannung von ca. 1,7 V beginnt die Blink-LED zu blinken und signalisiert damit, dass die Akkuzelle bald geladen ist. Zusätzlich leuchtet die rote LED, wenn der Akku auch mit Solarenergie durch das angeschlossene Solarmodul geladen wird - unabhängig davon, ob der Akku mit USB geladen wird oder nicht.

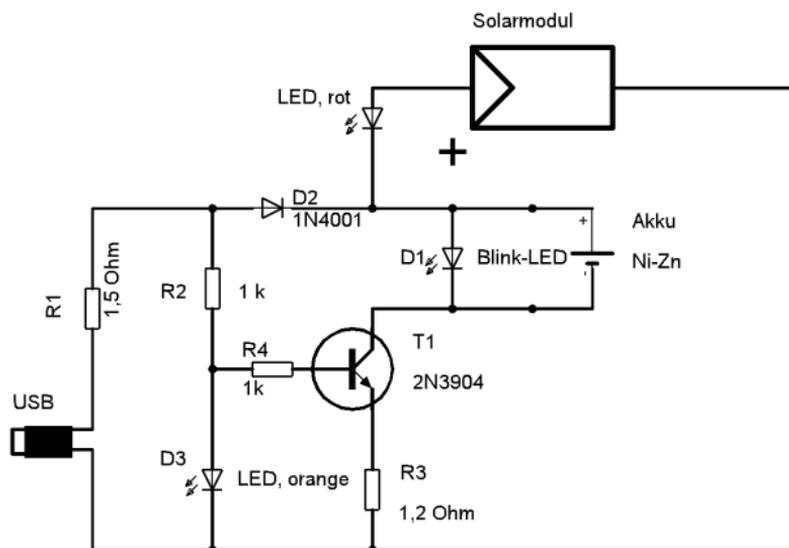


Abb. 064: Schaltbild

Diesen Schaltungsaufbau finden Sie auch in farbiger Darstellung auf dem Cover des Lernpakets.

19 Solarnachtlicht

Versuchsaufbau: Solarmodul, Steckbrett, orangefarbene LED, Transistor T1 2N3904, Diode D1 1N4001, Widerstand R1 100 K, Elko

1.000 μF , Krokodilkabel- und Klemmen, Lithium- oder alter Mobiltelefonakku

Im nachfolgenden Experiment wird ein Energiespeicher tagsüber geladen. Bei Dunkelheit gibt er die Energie wieder ab - im Experimentieraufbau hier über eine Leuchtdiode. Die Energieabgabe findet so lange statt, bis die gespeicherte Energie aufgebraucht ist. Das Experiment kann sowohl mit einem Akku als auch mit dem Elko (1.000 μF) durchgeführt werden. Der kleine Kondensator-speicher hat den Vorteil, dass das Funktionsprinzip ohne lange Ladezeit leicht nachvollziehbar wird.

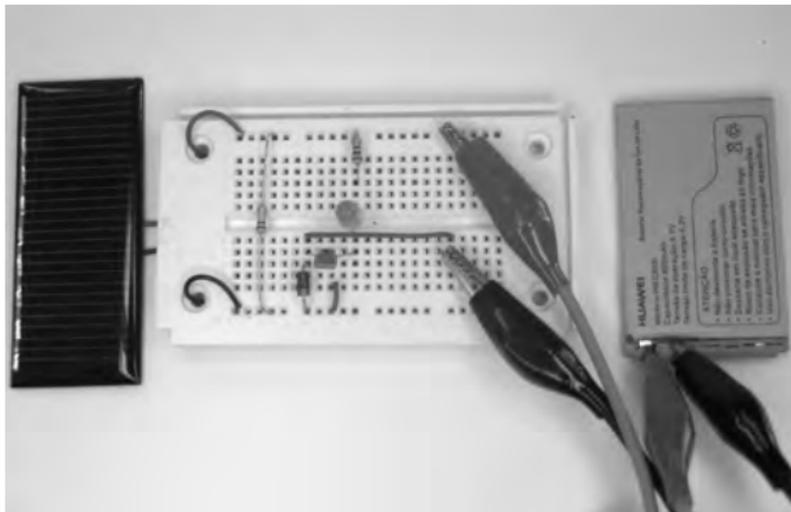


Abb. 066: Versuchsaufbau des Nachtlights

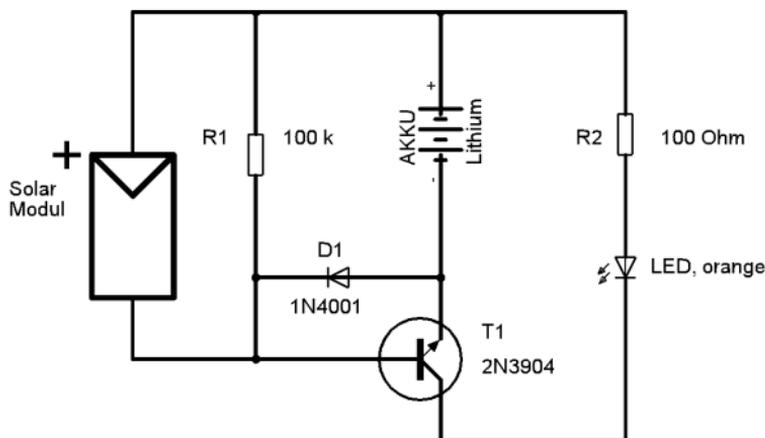


Abb. 067: Schaltbild für das Solarnachtlicht

Sobald es dunkel wird (z. B. bei abgedecktem Solarmodul), leuchtet die LED auf. Sie erlischt, sobald das Solarmodul wieder Licht erhält.

Der Strom, der von den beleuchteten Solarmodulen kommt, sperrt über die Basis von T1 dessen Kollektor-Emitter-Strecke. Der Akku wird über die Diode D1 geladen. Wenn kein Licht mehr auf das Solarmodul fällt, bleibt der Basisstrom aus, die Kollektor-Emitter-Strecke lässt den Stromfluss vom Akku über die LED fließen, die LED leuchtet.

Ein Lithium-Akku, der sich für das Mobiltelefon nicht mehr eignet, kann so noch sinnvoll genutzt werden. In der praktischen Anwendung wird tagsüber der Akku geladen und bei Dunkelheit gibt dieser die Energie wieder ab - im Experimentieraufbau hier über eine orangefarbene Leuchtdiode. Je nach Akkukapazität und Ladedauer brennt die LED die ganze Nacht. Ideal für den Betrieb sind z. B. Kerzen-LEDs in einer selbst gebastelten Laterne. Das Gehäuse der Laterne kann man z. B. einfach aus einem leeren Tetrapack anfertigen.



Abb. 068: Kerzenlichtlaterne nach dem oben beschriebenen Prinzip

Für ein Langzeitexperiment können ein rotes und ein schwarzes Kabel an die Goldkontakte des alten Mobiltelefonakkus angelötet oder die Kontakte mit den Krokodilklemmen angeschlossen werden.

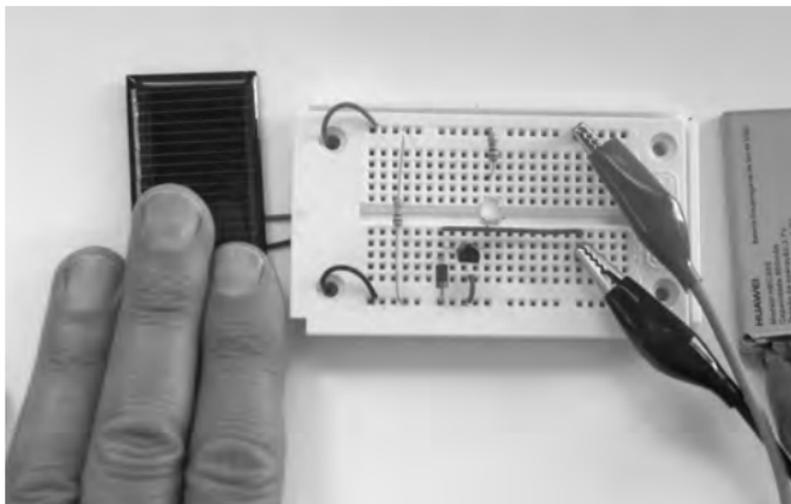


Abb. 069: Bereits durch das Abdecken eines Moduls wird das Nachtlcht aktiviert.

20 Erhalt der Leistungsfähigkeit von Akkus

20.1 Akku-Notfallrettung

Versuchsaufbau: Lithium-Akku, Krokodilkabel, Akkuzelle (tief entladen)

Akkus, die lange ungebraucht aufbewahrt wurden oder an einem Dauerstromverbraucher (z. B. einer elektrischen Uhr) angeschlossen waren, erleiden oft einen Kollaps. Betroffen davon sind NiCd- wie auch NiMh-Akkuzellen, die dann eine so niedrige Betriebsspannung haben, dass sie von automatischen Akkuladegeräten weder erkannt noch wieder aufgeladen werden können.

Abhilfe schaffen kurze, heftige Stromimpulse mit höherer Spannung, z. B. aus einem Lithium- oder einem 12-V-Autoakku.



Abb. 065: Anwendung mit Lithium-Akku und Krokodilkabel

Bleibatterien, die längere Zeit ungenutzt lagern, bilden eine Isolierschicht auf den Plattenoberflächen, werden dadurch hochohmig und lassen sich nicht mehr laden.

Abhilfe schafft hier, dem Akku wechselseitig Spannungen zuzuführen. Eine von der Polarität her »falsch« angelegte Spannung kann helfen, die inneren Isolierschichten wieder abzubauen.

Zur Vorsorge gibt es sog. Akku-Refresher. Der Akku wird laufend mit kurzen Impulsen im Millisekundenbereich »befeuert«. Die Energie dafür wird aus dem Akku entnommen und ist geringer als die ohnehin stattfindende Selbstentladung.

20.2 Akkupflege

Versuchsaufbau: Akku über Tage und Monate gelagert

Akkus zum Betreiben von elektrischen und elektronischen Geräten, die oft auch als Ersatz für teure Einwegbatterien eingesetzt werden, sind in der Anschaffung nicht ganz billig. Sie sollten deshalb ihren Dienst so lange wie möglich tun. Je nachdem, mit welchem technischen Verfahren der Akku geladen wird, variiert die mögliche Lade- und Entlademenge (Kapazität) und vor allem die Lebensdauer (die Zyklen) des Akkus.

Es gibt inzwischen so viele Empfehlungen zur Akkupflege, dass die Unsicherheit groß ist. Wie soll man welchen Akkutyp behandeln? Wichtig ist, nicht alle Akkutypen über einen Kamm zu scheren.

Akkutypen, wie sie im Lernpaket vorgestellt werden, sind sog. chemische Energiespeicher. In der Akkutechnologie gibt es unterschiedliche Modelle, die sich in der Hauptsache durch die chemischen Komponenten und den inneren Aufbau unterscheiden. Das konnte man schon an den Kürzeln wie z. B. NiZn, NiMh usw. sehen. Diese Verbindungen haben zusätzlich spezielle Eigenschaften. So haben NiMh-Akkus eine hohe, Lithium-Akkus dagegen eine extrem geringe Selbstentladung. Gleichzeitig gibt es aber auch einige grundsätzliche Eigenarten und Eigenschaften, die zu beachten sind:

- Chemische Reaktionen werden durch die Umgebungstemperatur beeinflusst. Zu hohe und zu tiefe Temperaturen sind schädlich. Der Akku hält am besten, wenn die Temperatur gleichmäßig im Bereich von ca. 10-15 °C liegt. Der Kühlschrank ist zu kalt.
- Je höher die Zellenspannung ist, desto schneller altern die Akkus, wenn sie gelagert werden. Deshalb sollten Akkus am besten nur mit halber Ladung gelagert werden.

- Hohe Entladeströme stressen den Akku. Wenn der Akku mit einem niedrigeren Strom als angegeben entladen wird, hält er länger. Alte Mobiltelefonakkus können problemlos noch lange Zeit z. B. für sparsame LED-Taschenlampen verwendet werden.
- Zu tief entladene und dann gelagerte Akkus altern schneller oder lassen sich nicht mehr verwenden. Daher ist bei längerem Lagern der Ladezustand zu überwachen und gegebenenfalls nachzuladen.