

**Empfindliche  
Anzeigelämpchen  
für die  
Elektrizitätslehre**

A. Reichert

# Inhaltsverzeichnis

|                                      |           |
|--------------------------------------|-----------|
| <b>1. Einleitung</b> .....           | <b>3</b>  |
| <b>2. Leitfähigkeitsprüfer</b> ..... | <b>4</b>  |
| 2.1 Schaltplan .....                 | 4         |
| 2.2 Bauteile .....                   | 5         |
| 2.3 Aufbau .....                     | 5         |
| 2.4 Versuche .....                   | 7         |
| <b>3. Batterietester</b> .....       | <b>11</b> |
| 3.1 Bauteile .....                   | 11        |
| 3.2 Aufbau .....                     | 11        |
| 3.3 Versuche .....                   | 12        |

# 1. Einleitung

In der Mittelstufe werden an verschiedenen Stellen im Unterricht schwach leitende Lösungen und Stoffe auf ihre elektrische Leitfähigkeit untersucht. Dabei tritt das Problem auf, dass der elektrische Strom und damit Strommessgeräte erst später im Physikunterricht behandelt werden. Nun sind vielen Schülern Strommessgeräte zwar bekannt, aber dennoch verbinden selbst Schüler höherer Jahrgangsstufen mit Stromfluss das Aufleuchten eines Lämpchens. Da die Leitfähigkeit vieler Lösungen, Stoffe und Schmelzen sehr gering ist, kann man selbst Lämpchen und Leuchtdioden sehr kleiner Leistung nicht einsetzen, um deren Leitvermögen zu zeigen. Ein wenig Elektronik macht dies jedoch möglich. Dabei kann man den Schülern den selbstgebauten Leitfähigkeitsprüfer aufgrund seines Aussehens als besonders empfindliches Lämpchen "verkaufen", was es im Grunde genommen ja auch ist. Seine hohe Empfindlichkeit lässt sich zeigen, indem man den menschlichen Körper als Leiter benutzt. Hierbei leuchtet das Lämpchen schwach auf. Darüber sind die Schüler immer wieder verblüfft. Diese kleine Demonstration ist völlig ungefährlich, da die Schaltung mit einer 4,5 V Batterie betrieben wird.

Ein ähnliches Problem tritt auf, wenn das Thema Batterie behandelt wird. Auch dann kann man mit einem Spannungsmesser zeigen, dass eine Versuchsanordnung eine Spannung erzeugt. Viel motivierender für die Schüler ist es, wenn man mit der selbst gebauten Batterie ein Lämpchen zum Leuchten bringen kann. Auch hier reicht die Leistung der Batterie häufig nicht aus, selbst Lämpchen mit sehr kleiner Leistung zu betreiben. Abhilfe schaffen sogenannte Low-Current LED's, die seit einigen Jahren im Elektronikhandel erhältlich sind. Sie benötigen nur den zehnten Teil der Leistung normaler LED's. Außerdem kann man mit ihnen auch noch die Polung der Batterie ermitteln, da LED's nur leuchten, wenn sie richtig gepolt an die Spannungsquelle angeschlossen werden. Ferner gibt es seit einiger Zeit im Elektronikhandel kleine Solarmotoren zu kaufen, die nur eine Spannung von 0,4 V und einen Strom von 10 mA benötigen. Auch sie können mit vielen selbst gebauten Batterien zum Laufen gebracht werden. Das motiviert die Schüler zusätzlich. Ich wünsche Ihnen viel Spaß beim Basteln und Experimentieren.

Stolberg, im Juli 2007

## 2. Leitfähigkeitsprüfer

### 2.1 Schaltplan

Abb.1 zeigt die zugrunde liegende Schaltung. Es handelt sich um eine einfache Blinkschaltung, durch die die Lampe in ständigem Wechsel ein- und ausgeschaltet wird. Die Länge der Einschaltzeit pro Periode wird über den Messwiderstand verändert.

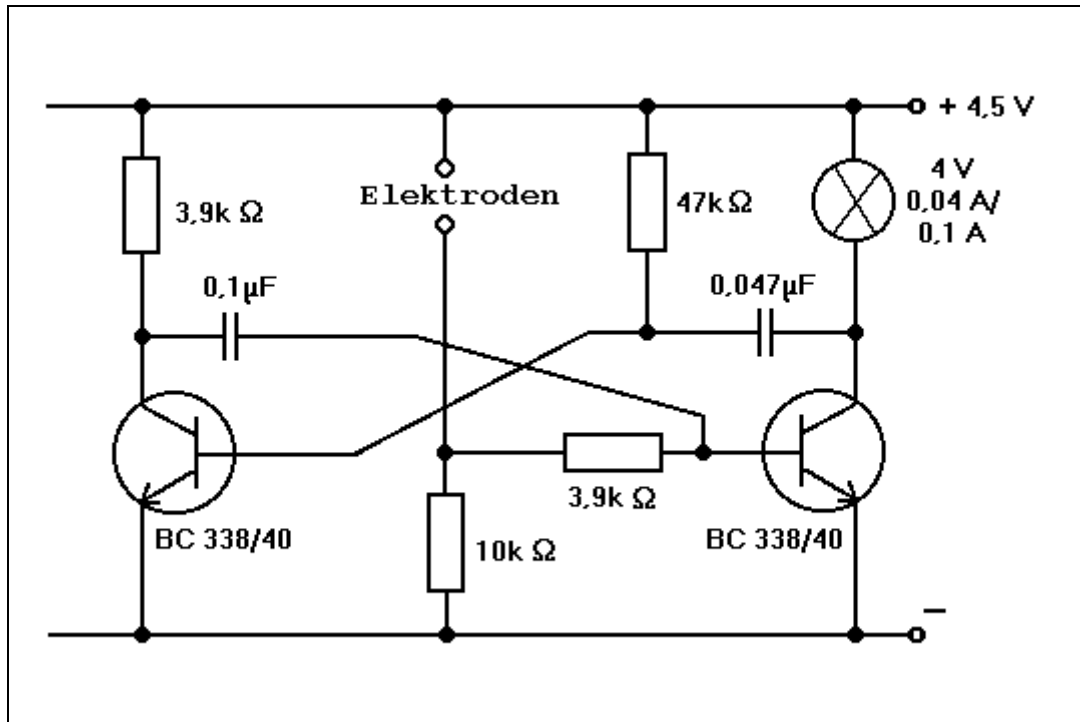


Abb1. Schaltplan

Je kleiner er ist, umso länger sind die Einschaltzeiten des Lämpchens pro Periode. Bei sehr kleinem Messwiderstand leuchtet das Lämpchen kontinuierlich. Da die Blinkfrequenz recht hoch ist, kann unser Auge das Flackern der Lampe nicht wahrnehmen. Es sieht vielmehr so aus, als ob die Lampe bei jedem Messwiderstand kontinuierlich brennen würde und zwar umso heller, je länger die Einschaltzeiten sind. Der 10 kΩ Widerstand bestimmt, ab welchem Messwiderstand die Lampe überhaupt leuchtet. Er ist so gewählt, dass der Leitfähigkeitsprüfer bei 50 kΩ Messwiderstand gerade anspricht. Daher brennt das Lämpchen bei destilliertem Wasser nicht, wenn die Messelektroden eine kleine Fläche und einen Abstand von mindestens 2 cm haben. Erhöht man diesen Widerstand, so steigt die Empfindlichkeit auf ca. 100 kΩ Messwiderstand. Welchen Widerstand man wählt, hängt davon ab, wie gut sich das Wasser durch den Ionenaustauscher der Schule entmineralisieren lässt.

Die Elektrodeneingänge des Leitfähigkeitsprüfers sind kurzschlussfest. Bei Kurzschluss der beiden Elektroden leuchtet das Lämpchen nur hell auf, ohne dass das Gerät zerstört wird.

Auch eine falsche Polung der Batterie hat nur den Effekt, dass das Gerät solange nicht funktioniert, bis die Spannungsquelle richtig gepolt wird. Es eignet sich daher hervorragend für Schülerübungen. Besteht an der Schule eine Elektronik-AG, so sind die Schüler meist hellauf begeistert, wenn sie die Schaltung quasi in Serienproduktion bauen dürfen, da sie danach ein sinnvolles Produkt in Händen halten, dass sie dann später im Unterricht ihren Mitschülerinnen und Mitschülern stolz präsentieren und vorführen können.

## 2.2 Bauteile

In der folgenden Tabelle habe ich die Bauteile zusammengestellt, die man für ein Exemplar der Schaltung benötigt. Sie sind z. B. im Versandhandel oder in jedem Elektronikladen erhältlich, da es sich durchweg um gängige Elektronikbauteile handelt.

### Tabelle der Bauteile:

- 1 Kunststoffgehäuse 80x26x45 mm
- 1 Lampenfassung E 10 mit Steg
- 1 Lämpchen 4V/0,04A oder 0,1 A
- 2 gelbe Buchsen 4 mm vollisoliert
- 1 rote Buchse 4 mm vollisoliert
- 1 schwarze Buchse 4 mm vollisoliert
- 1 Platine 5x9 cm, mit Lötstreifen RM 2,54 mm
- 2 Transistoren BC 338/40
- 2 Widerstände 3,9 k $\Omega$ , 1/4 W  
(Farbcode: orange weiß rot gold)
- 1 Widerstand 47 k $\Omega$ , 1/4 W  
(Farbcode: gelb violett orange gold)
- 1 Widerstand 10 k $\Omega$ , 1/4 W  
(Farbcode: braun schwarz orange gold)
- 1 Kondensator 0,1  $\mu$ F/50 V
- 1 Kondensator 0,047  $\mu$ F/50 V
- 2 Schrauben mit Mutter, Durchmesser: 2 mm, Länge: 15 mm
- 2 Holzschrauben, Durchmesser: 2 mm, Länge: 6,5 mm
- etwas Schaltlitze und die üblichen Lötmaterialien

## 2.3 Aufbau

Schneiden Sie sich zunächst die Platine mit einer kleinen Metallsäge auf eine Größe von 6x4 cm zurecht, wobei die Lötstreifen zur Längsseite parallel verlaufen müssen. Dann verlöten Sie die Bauteile nach dem beiliegenden Verschaltungsplan (s. Abb.2) auf der Platine.

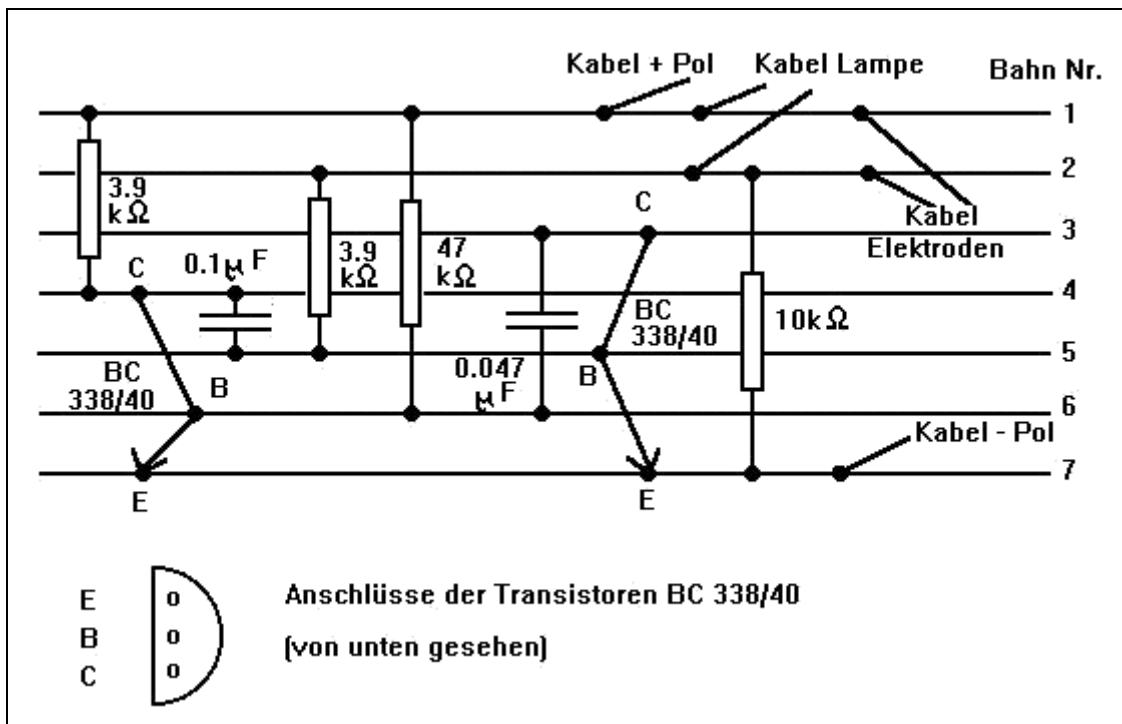


Abb. 2 **Platinenlayout**

Dabei entspricht die Bahn Nr. 1 der 5. Bahn von oben auf der Platine. Anschließend bohren Sie in der Mitte des Gehäusedeckels mit einem Holzbohrer ein Loch der Größe 10 mm. Stecken Sie die Lampenfassung hinein und markieren Sie sich die Löcher zur Befestigung der Fassung auf dem Gehäuse. Mit einem 2 mm Bohrer können Sie die passenden Löcher herstellen und anschließend die Lampenfassung mit den Schrauben am Gehäuse befestigen. In jede der beiden Stirnseiten des Deckels bohren Sie je zwei Löcher der Größe 8 mm im Abstand von 2 cm. In sie werden an der einen Seite die gelben Buchsen, an der anderen Seite die rote und die schwarze Buchse verschraubt. Die rote Buchse dient zum Anschluss des Pluspols, die schwarze zum Anschluss des Minuspols der Batterie. An die gelben Buchsen werden im Betrieb über zwei Kabel die beiden Elektroden angeschlossen. Setzen Sie danach die Platine in den Boden des Gehäuses ein. Bohren Sie sich dazu an zwei gegenüberliegenden Ecken der Platine mit einem 2mm Bohrer je ein Loch. Die Löcher müssen genau auf die Befestigungsstege im Gehäuseboden passen. Befestigen Sie die Platine mit den beiden Holzschraubchen. Danach verlöten Sie die Kabel auf der Platine mit der Lampe bzw. den Buchsen. Achten Sie darauf, dass Sie die Kabel nicht vertauschen. Die Kabel sollten je etwa 5 cm lang sein, damit Sie keine Probleme bekommen, wenn Sie das Gehäuse wegen eines Defektes später noch mal öffnen müssen. Als Spannungsquelle dient eine 4,5 V Flachbatterie. Die Schaltung können Sie testen, indem Sie im Betriebszustand die beiden gelben Buchsen über ein Kabel kurzschließen. Die Lampe sollte dann hell aufleuchten. In Bild 1 sehen Sie rechts den Leitfähigkeitsprüfer im fertigen Zustand.



Bild 1:  
 fertige Prüfgeräte  
 rechts:  
 Leitfähigkeitsprüfer  
 links:  
 Batterietester

## 2.4 Versuche

### Versuch 1:

#### Durchführung:

Man schließt an die Elektrodeneingänge des Prüfers zwei Kabel an. Die blanken Enden der beiden Kabel fasst man mit den Händen an, die man eventuell vorher etwas anfeuchtet.

#### Beobachtung:

Die Lampe leuchtet.

#### Erklärung:

Der Hautwiderstand liegt bei feuchten Händen im Bereich von 50 k $\Omega$ .

### Versuch 2:

#### Durchführung:

Die Elektrodeneingänge des Lämpchens werden mit zwei Eisenstabelektroden verbunden, die einen Abstand von ca. 1 cm haben. Die Elektroden taucht man

- a) in destilliertes Wasser,
- b) in festes Bleichlorid( $Xn$ , mindergiftig) und
- c) in eine gesättigte Lösung von Bleichlorid in Wasser.

#### Beobachtung:

Nur im Falle c) leuchtet die Lampe.

#### Erklärung:

Destilliertes Wasser enthält nur wenige Ionen. Im festen Bleichlorid sind die Ionen nicht beweglich. Nur in einer Lösung liegen bewegliche Ionen vor.

#### **Versuch 3:**

##### Durchführung:

Man steckt die Elektroden aus Versuch 2 in einen Porzellantiegel, der etwa zur Hälfte mit festem Bleichlorid (Xn, minder-giftig) gefüllt ist. Anschließend schmilzt man das Salz.

##### Beobachtung:

Ist das Bleichlorid flüssig, so leuchtet das Lämpchen. Sie erlischt beim Erstarren wieder.

##### Erklärung:

Salze bestehen im festen Zustand zwar aus Ionen, also geladenen Teilchen. Diese sitzen jedoch fest und können sich nicht bewegen. Erst im geschmolzenen oder aufgelösten Zustand werden sie beweglich.

#### **Versuch 4:**

##### Durchführung:

An die Elektrodeneingänge des Leitfähigkeitsprüfers schließt man zwei Platinelektroden an, die einen Abstand von ca. 1 cm haben. Als Testlösungen verwendet man

- a) 40 ml reine Essigsäure (C, ätzend)
- b) 40 ml destilliertes Wasser
- c) eine Lösung von 2 ml Essigsäure in 38 ml Wasser
- d) 40 ml Aceton (F, leichtentzündlich) und
- e) eine Lösung von 2 ml Essigsäure in 38 ml Aceton.

##### Beobachtung:

Nur bei Messlösung c) leuchtet das Anzeigelämpchen.

##### Erklärung:

Essigsäure ist im reinen Zustand nicht aus Ionen, sondern aus neutralen Molekülen aufgebaut. Nur im sehr polaren Lösungsmittel Wasser zerfällt sie in merklichen Mengen in Ionen. Reines Aceton und reines Wasser sind ebenfalls Molekülverbindungen.

#### **Versuch 5:**

##### Durchführung:

Man verwendet die Elektroden aus Versuch 4 und prüft damit

- a) Salzwasser
- b) Zuckerwasser und
- c) Leitungswasser

auf ihre Leitfähigkeit.

##### Beobachtung:

Bei Leitungswasser und Salzwasser brennt die Lampe.

##### Erklärung:

Salzwasser und Leitungswasser enthalten Ionen, die aus den gelösten Salzen stammen. Zuckerteilchen lösen sich nicht in Form von Ionen, sondern als ganze Moleküle im Wasser.

#### **Versuch 6:**

#### Durchführung:

Man verbindet die beiden Elektroden mit den Kontakten einer großen oder kleinen Glühbirne und einer Energiesparlampe.

#### Beobachtung:

Das Lämpchen brennt, wenn die Glühbirne noch in Ordnung ist, sonst nicht. Bei Energiesparlampen leuchtet sie in keinem Falle.

#### Folgerung:

Mit dem Leitfähigkeitsprüfer kann man testen, ob eine Glühlampe durchgebrannt ist oder nicht. Das ist vor allem bei Milchglasglühbirnen und kleinen Glühbirnen sehr praktisch, da man bei ihnen mit bloßem Auge nicht erkennen kann, ob die Glühwendel noch in Ordnung ist. Energiesparlampen enthalten keine Glühwendel. In ihnen leuchtet ein Gas, das durch die hohe Spannung leitend wird. Dazu reicht die Spannung des Leitfähigkeitsprüfers auf keinen Fall aus.

Für den folgenden Versuch benötigt man ein Netzkabel mit Stecker, das man aus einem alten Elektrogerät ausgebaut hat. Die Versuche dürfen nur mit einem ausgebauten Kabel, das nicht mit dem Stromnetz verbunden ist, durchgeführt werden. Alles andere ist lebensgefährlich und zerstört den Leitfähigkeitsprüfer sofort.

### **Versuch 7:**

#### Durchführung:

Man verbindet eine gelbe Buchse über ein Kabel mit einem Stift des Steckers bzw. einem der seitlichen Metallbügel, die andere mit einem der drei Kabelenden.

#### Beobachtung:

Die Lampe leuchtet, wenn die Elektroden entweder mit dem linken/rechten Steckerstift und dem blauen/braunen Kabel verbunden sind oder umgekehrt. Benutzt man die seitlichen Metallbügel des Steckers, so brennt die Lampe nur, wenn man das gelbgrüne Kabel an die zweite Elektrode anschließt.

#### Erklärung:

Das braune Kabel nennt man die Phase, das blaue den Nullleiter. Sie sind mit je einem der beiden Steckerstiften verbunden und schließen den Stromkreis des Gerätes mit den Polen der Steckdose. Das gelbgrüne Kabel ist der Schutzleiter. Er verhindert, dass ein Gerät bei einem Kurzschluss unter Spannung steht.

### **Versuch 8:**

#### Durchführung:

Man prüft z.B. folgende Stoffe auf ihre Leitfähigkeit:

- a) Gegenstände aus verschiedenen Metallen,
- b) Bleistiftmine,
- c) trockenes/nasses Holz, Papier, Kreidestück, Textilgewebe,
- d) Gegenstände aus Plastik.

Die Zusammenstellung lässt sich beliebig erweitern.

#### Beobachtung:

Die Lampe leuchtet bei Metallgegenständen und der Bleistiftmine, nicht dagegen bei Plastikgegenständen, trockenem Holz, Papier, Kreide oder Textilgewebe. Im nassen Zustand brennt das Lämpchen meist schwach, wenn der Abstand der Elektroden nicht zu groß ist.

Erklärung:

Metalle enthalten frei bewegliche Elektronen, die den Strom sehr gut leiten. Plastik, Holz, Papier und Textilgewebe bestehen aus organischen Stoffen mit geringen Mengen eingelagerter Mineralien. Im trockenen Zustand sind die Ionen der Mineralien gebunden, also nicht beweglich. Im nassen Zustand lösen sie sich und können sich dann frei bewegen. Die Stoffe leiten. Kreide ist chemisch gesehen ein Salz. Seine Ionen sitzen fest und werden nur im gelösten oder geschmolzenen Zustand beweglich (vgl. Versuch 2) und 3)).

## 3. Batterietester

### 3.1 Bauteile

Für den Batterietester benötigt man pro Exemplar die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Bauteile. Sie sind im Versandhandel oder in jedem Elektronikladen erhältlich, da es sich durchweg um gängige Elektronikbauteile handelt.

Tabelle der benötigten Bauteile:

- 1 **Low-Current** LED, 5 mm
- 1 LED-Fassung mit Optik für 5 mm LED
- 2 schwarze Buchsen, 4 mm, vollisoliert
- 2 rote Buchsen, 4 mm, vollisoliert
- 1 Solarmotor 0,4 V/0,01 A
- 1 Kunststoffgehäuse 125x56x45 mm
- 2 Holzschraubchen zur Befestigung des Solarmotors
- 1 Stück Kabelisolierung
- 1 Schraube 18x3 mm mit Mutter und 2 Unterlegscheiben
- 1 Verschluss einer Sprudelflasche
- 1 leere Filmdose
- etwas Schaltlitze und die üblichen Lötmaterialien

### 3.2 Aufbau

Zunächst bohrt man in den Gehäusedeckel mit einem Holzbohrer 2 cm vom unteren Rand und 1,5 cm von den Seiten entfernt zwei 8 mm Löcher für zwei der vier Buchsen. Zwischen die beiden Buchsenlöcher kommt dreieckförmig nach oben versetzt ein 10 mm großes Loch für die LED-Fassung. 2,5 cm oberhalb dieses Loches folgen zwei weitere 8 mm Löcher für die Buchsen des Solarmotors. Sie sind ebenfalls jeweils 1,5 cm vom rechten bzw. linken Rand entfernt. Zum Schluss müssen noch die Löcher für den Motor gebohrt werden. Für das Achsenlager benötigt man bei dem von mir verwendeten Motor ein 10 mm Loch. Es sollte sich 3 cm vom oberen Rand in der Mitte des Deckels befinden. Im Abstand von je 1 cm rechts und links von der Mitte dieses Loches bohrt man zum Schluss 2 Löcher mit 3 mm Durchmesser. Sie sind für die Holzschraubchen zur Befestigung des Motors gedacht.

Danach werden die vier Buchsen am Deckel befestigt, die roten rechts, die schwarzen links. Die LED wird in die Fassung eingepresst und samt Fassung mit der Mutter am Gehäusedeckel im 10 mm Loch verschraubt. Um die leuchtende LED auch bei seitlichem Streulicht gut sehen zu können, kann man zwischen die LED-Fassung und den Gehäusedeckel eine leere Filmdose klemmen, in deren Boden man zuvor ein passendes Loch gebohrt oder mit einem scharfen Messer geschnitten hat. Man kann die Dose dabei zusätzlich mit etwas Klebstoff am Gehäuse stabilisieren. Bei der LED muss es sich unbedingt um eine **Low-Current-LED** han-

deln, da nur sie mit 1-2 mA und 1,6-2 V auskommt. Danach befestigt man den Solarmotor am Gehäuse. Den Propeller des Motors stellt man sich aus dem Verschluss der Sprudelflasche selbst her. In den Verschluss sticht man mit einem Nagel ein ca. vier mm großes Loch. durch ihn steckt man die 3 mm Schraube, wobei der Verschluss zwischen die beiden Unterlegscheiben geklemmt wird und mit der Mutter verschraubt wird. Als Verbindungsstück zwischen Schraube und Motorachse dient das Stück Kabelisolierung.

Anschließend verlötet man die Kathode der LED (kurzes Beinchen) über etwas Schaltlitze mit der schwarzen Buchse und die Anode (langes Beinchen) mit der roten Buchse. Je nach Bauart der Buchse ist es dabei ratsam, ein Stück blanken Kupferdrahtes über eine selbst gedrehte Öse an der Buchse zu verschrauben und an diesen Draht die Schaltlitze anzulöten. Denn bei manchen Buchsen gelingt das direkte Verlöten der Schaltlitze an der Buchse nur schwer, da beim Löten durch die Buchse zu viel Wärme abgeführt wird. Anschließend verbindet man die beiden oberen Buchsen mit den Anschlüssen des Solarmotors nach Möglichkeit über ein Stück blanken Kupferdrahtes wie bei der LED. Dabei muss man nicht auf die Polung achten. Der Batterietester ist damit fertig und kann verschlossen werden. Mit ihm lassen sich die folgenden Versuche durchführen, selbstverständlich auch als Schülerversuche, sofern man mehrere Exemplare des Testers angebaut hat. Bild 1 zeigt ihn links im fertigen Zustand (s. Kapitel 2.3).

### 3.3 Versuche

#### Versuch 1:

##### Durchführung:

Ein U-Rohr mit Diaphragma füllt man auf einer Seite mit konz. Kaliumnitratlösung. In sie taucht eine Zinkelektrode. In die andere Seite des U-Rohres gibt man ebenfalls konz. Kaliumnitratlösung, der man etwas Brom (C, ätzend) zusetzt. Als Elektrode dient hier ein Kohlestab.

##### Beobachtung:

Verbindet man die rote Buchse der LED bzw. des Solarmotors mit der Kohlelektrode und die schwarze Buchse mit dem Zinkstab, so leuchtet die LED und der Motor läuft. Vertauscht man die Anschlüsse, so brennt die LED nicht, der Motor läuft. Bei längerem Betrieb entfärbt sich das Brom vollständig. In der Lösung entsteht dann bei Zusatz von Silbernitratlösung ein gelblicher Niederschlag. In der anderen Halbzelle bildet sich bei Zugabe von rotem Blutlaugensalz ein gelber Niederschlag.

##### Folgerung:

Im U-Rohr liegt eine Batterie vor, deren Pluspol der Kohlestab und deren Minuspol der Zinkstab ist. Im Betrieb entstehen aus dem elementaren Brom Bromidionen und aus dem metallischen Zink Zinkionen, wie die Reaktionen mit Silbernitratlösung bzw. rotem Blutlaugensalz beweisen. Da der dazu nötige Elektronenaus-

tausch nicht durch direkten Kontakt der beiden Reaktionspartner, sondern nur über die äußeren Kabel und damit über die LED stattfinden kann, fließt ein elektrischer Strom.

### **Versuch 2:**

#### Durchführung:

Man füllt in beide Hälften des U-Rohres konz. Zinkbromidlösung (C, ätzend). In beide taucht man je eine Kohleelektrode. Man elektrolysiert 5 min bei 10 V und ersetzt dann die Spannungsquelle durch die LED bzw. den Motor.

#### Beobachtung:

Bei der Elektrolyse bildet sich am Pluspol eine bräunliche Lösung, am Minuspol auf der Kohleelektrode ein grauer Belag. Schließt man die LED statt der Spannungsquelle an, so leuchtet sie, wenn ihre Polung mit der Polung der vorher angeschlossenen Spannungsquelle übereinstimmt, anderenfalls nicht. Nach längerem Betrieb entfärbt sich die bräunliche Lösung wieder und auch der graue Belag verschwindet. Der Motor läuft unabhängig von der Polung.

#### Folgerung:

Bei der Elektrolyse bildet sich am Pluspol aus den Bromidionen des Zinkbromids elementares Brom und aus den Zinkionen elementares Zink. Verwendet man die Zelle anschließend als Batterie, so laufen die Reaktionen rückwärts ab. Offensichtlich liegt hier ein Akku vor. Er entsteht, wenn man die chemische Reaktion, die bei einer Elektrolyse abläuft, einfach umkehrt. Dabei bleibt die Zuordnung der Pole erhalten. Ferner kann man die bei der Elektrolyse hineingesteckte Energie im Akku wieder zurückgewinnen.

### **Versuch 3:**

#### Durchführung:

Man füllt in beide Schenkel des U-Rohres verdünnte Schwefelsäure (C, ätzend), taucht je eine Bleielektrode ein und elektrolysiert bei 5 V ca. 5 min. Dann tauscht man die Spannungsquelle gegen die LED bzw. den Motor aus.

#### Beobachtung:

Bei der Elektrolyse bildet sich auf der Bleielektrode am Pluspol ein brauner Belag, am Minuspol scheidet sich ein Gas ab. Im Batteriebetrieb leuchtet die LED bei richtiger Polung und der Motor läuft unabhängig von der Polung. Dabei überziehen sich beide Elektroden mit einem weißen Belag.

#### Folgerung:

In diesem Versuch spielen sich die Vorgänge ab, die beim Laden und Entladen einer Autobatterie von größter Wichtigkeit sind. Der braune Belag ist Bleidioxid, der weiße Belag Bleisulfat. Eine genaue Beschreibung der Vorgänge kann man jedem Oberstufenbuch für Chemie entnehmen.

Für die folgenden Versuche benötigt man einen möglichst sauren Apfel, etwa der Sorte Boskop, oder eine Zitrone und einige Metallelektroden als Platten oder Stäbe, außerdem ein Stück Mag-

nesiumband. Die Metalle müssen vor den Versuchen abgeschmirgelt werden.

#### **Versuch 4:**

##### Durchführung:

Man steckt in den sauren Apfel oder die Zitrone einen Kupferstab und ein 5 cm langes zweilagiges Stück Magnesiumband (F, leicht entzündlich). Dann verbindet man den Kupferstab mit der roten Buchse der LED bzw. des Motors und das Magnesiumband über eine Krokodilklemme mit der schwarzen Buchse.

##### Beobachtung:

Die LED leuchtet kurz auf, der Motor läuft meistens nicht. Manchmal muss man ihn ein wenig anstoßen. Bewegt man das Magnesiumband im Apfel bzw. der Zitrone hin und her, so blitzt die LED immer wieder kurzzeitig auf und der Motor läuft kurz.

##### Erklärung:

Die Säure des Apfels bzw. der Zitrone bildet mit den beiden Metallen, einem edlen und einem unedlen eine Batterie. Dabei entsteht aus den Wasserstoffionen der Säure molekularer Wasserstoff. Die Spannung einer solchen Batterie hängt von den verwendeten Metallen ab. Sie beträgt bei einer Kupfer/Magnesium-Batterie 1,5 - 2 V. Daher leuchtet die LED. Der Motor läuft häufig nicht, da der entnommene Strom zu gering ist. Die Richtigkeit dieser Deutung zeigt der folgende Versuch.

#### **Versuch 5:**

##### Durchführung:

Man taucht die Kupfer- und die Magnesiumelektrode aus Versuch 4 in 15%ige Apfel-, Wein- oder Zitronensäurelösung (Xi, reizend).

##### Beobachtung:

Die LED leuchtet kurz hell auf, der Motor läuft los, wenn der Abstand der Elektroden gering ist, bleibt aber nach einiger Zeit stehen. Allerdings dürfen sich die Elektroden nicht berühren. Am Kupfer und am Magnesium tritt eine starke Gasentwicklung auf. Bewegt man das Magnesiumband hin und her, so leuchtet die LED immer wieder kurz auf und der Motor startet immer wieder für kurze Zeit.

##### Erklärung:

Magnesium ist sehr unedel. Daher reagiert es nicht nur indirekt über die Kupferelektrode mit den Wasserstoffionen, sondern auch direkt. Dadurch bildet sich um das Magnesium herum eine Wasserstoffwolke, die den Ionenaustausch zwischen dem Magnesium und der Lösung erschwert. Der Stromfluss kommt zum Erliegen. Durch das Bewegen des Magnesiumbandes löst sich der Wasserstoff von der Elektrode, der Strom kann für einen kurzen Moment wieder ungehindert fließen.

#### **Versuch 6:**

##### Durchführung:

Man ersetzt in den Versuchen 4 und 5 Magnesium durch einen Zinkstab.

Beobachtung:

Die LED leuchtet nicht. Je nach Größe und Abstand der Elektroden läuft der Motor, zumindest wenn man die Säurelösungen aus Versuch 5) verwendet.

Erklärung:

Zink ist wesentlich edler als Magnesium. Daher liefert die Kupfer/Zink-Batterie eine geringere Spannung als die Kupfer/Magnesium-Batterie, unter günstigen Bedingungen ca. 1 V. Das reicht für den Motor, nicht aber für die LED. Dass diese Deutung richtig ist, zeigt der folgende Versuch.

**Versuch 7:**

Durchführung:

Man teilt den Apfel in zwei Hälften. In jede Hälfte steckt man einen Zink- und einen Kupferstab. Ein Zinkstab wird mit dem Kupferstab der zweiten Batterie verbunden. Den anderen Zinkstab verbindet man mit der Minusbuchse der LED bzw. des Motors, den zweiten Kupferstab mit der Plusbuchse.

Beobachtung:

Die LED leuchtet. Der Motor läuft meist, abhängig von der Größe der Elektroden.

Erklärung:

Durch die Reihenschaltung der beiden Batterien erhält man eine Spannung von ca. 2 V. Das reicht auch für die LED.

**Versuch 8:**

Durchführung:

Man steckt einen Silberstab und einen Zinkstab in eine Apfelhälfte. Dann verbindet man den Silberstab mit dem Pluspol der LED bzw. des Motors, den Zinkstab mit dem Minuspol. Danach wiederholt man den Versuch mit zwei solcher Batterien, die man in Reihe schaltet.

Beobachtung:

Verwendet man nur eine Batterie, so leuchtet die LED nicht, der Motor läuft je nach Größe der Stäbe. Bei der Reihenschaltung leuchtet die LED heller auf als in Versuch 7, der Motor läuft.

Erklärung:

Silber ist edler als Kupfer. Daher ist die Spannung einer Silber/Zink-Batterie höher als die einer Kupfer/Zink-Batterie. Sie liegt im günstigsten Fall bei ca. 1,5 V, reicht also gerade nicht aus, um die LED zum Leuchten zu bringen. Das zeigt der nächste Versuch.

**Versuch 9:**

Durchführung:

Man schließt an die LED bzw. den Motor eine Monozelle an, wobei man bei der LED auf die Polung achtet.

Beobachtung:

Die LED leuchtet nicht, selbst wenn die Monozelle noch voll ist. Der Motor läuft, sofern die Batterie nicht leer ist.

Erklärung:

Monozellen liefern eine Spannung zwischen 1,2 und 1,5 V, je nach dem, ob es sich um einen Akku oder eine normale Batterie handelt. Diese Spannung reicht nicht, um die LED zum Leuchten zu bringen. Der Motor benötigt jedoch nur 0,4 V, um zu laufen. Jedoch liefert nur eine volle Batterie den erforderlichen Strom.

**Versuch 10:**

Durchführung:

Man schließt an den Motor und die LED eine Solarzelle an und beleuchtet sie mit einer Schreibtischlampe. Dabei beachtet man die Polung bei der LED.

Beobachtung:

Der Motor läuft, wenn auch langsam, die LED leuchtet nicht.

Erklärung:

Solarzellen liefern nur eine Spannung von 0,4 bis 0,5 V. Das reicht für den Motor, nicht aber für die LED.

**Versuch 11:**

Durchführung:

Man schließt drei bzw. vier Solarzellen in Reihe, wobei man den Minuspol einer Solarzelle mit dem Pluspol der nachfolgenden verbindet. Der freie Minuspol wird mit dem Minuspol der LED, der freie Pluspol mit dem Pluspol der LED verbunden.

Beobachtung:

Die LED leuchtet bei vier Zellen hell auf, bei dreien leuchtet sie nicht.

Erklärung:

Drei Zellen liefern eine Spannung von 1,2 bis 1,5 V, vier zwischen 1,6 und 2 V. Nur im zweiten Falle ist sie also hoch genug, um die LED zum Leuchten zu bringen.

**Versuch 12:**

Durchführung:

Man schaltet mehrere Solarzellen parallel, in dem man die Minuspole jeweils miteinander verbindet, ebenso die Pluspole. An diese Batterie schließt man den Motor bzw. die LED an.

Beobachtung:

Die LED leuchtet nicht, der Motor läuft schneller als in Versuch 10.

Erklärung:

Bei der Parallelschaltung von Batterien bleibt die Spannung gleich, der abnehmbare Strom steigt. Mit 0,4 bis 0,5 V ist die Spannung für die LED also zu gering, der höhere Strom lässt den Motor schneller laufen.