

Die „phänomenale Schatzkiste“ – Experimente zur Elektrizität

Elektrizität umgibt uns im Alltag überall – nicht nur elektrische Geräte brauchen sie um zu funktionieren, sondern auch unsere Muskeln und Sinnesorgane leiten Informationen als elektrische Impulse an das Gehirn weiter. Damit elektrische Phänomene möglich sind, muss zunächst Elektrizität erzeugt werden. Dafür gibt es die verschiedensten Wege, die auch zur Informationsgewinnung verwendet werden können. Das passiert z.B. in Sensoren wie der Lichtschranke. Vom Ort der Erzeugung muss sie anschließend dorthin geleitet werden, wo sie etwas bewirken soll.

Der Berührungssensor – Schalten mit „Körpereinsatz“

Die Physik – Nicht alle Stoffe können verwendet werden, um Strom von einem Ort zu einem anderen zu transportieren. Man unterscheidet *Isolatoren*, die keine oder nur kaum elektrische Leitfähigkeit haben, *Leiter*, *Halbleiter*, die nur leiten, wenn man sie mit anderen Stoffen gezielt verunreinigt (*dopiert*) und sog. *Supra-Leiter*. Letztere haben eine extrem hohe Leitfähigkeit, allerdings

Für Fortgeschrittene:

Die Leitfähigkeit ist der Kehrwert des elektrischen Widerstandes.

$$\sigma = \frac{1}{R} = \frac{I}{U} \cdot \frac{A}{l} \quad (1)$$

Ein Objekt leitet also umso besser, je größer seine Querschnittsfläche *A* und je kürzer seine Länge *l* ist. *I* ist dabei die Stromstärke und *U* die angelegte Spannung.

erst, wenn man sie sehr stark abkühlt ($T < 250^{\circ}\text{C}$). Neben Metallen haben auch Flüssigkeiten, in denen Salze gelöst sind, eine hohe Leitfähigkeit. Da der menschliche Körper viele solcher Flüssigkeiten enthält, ist er auch ein elektrischer Leiter, wenn auch ein vergleichsweise schlechter. Der Widerstand des menschlichen Körpers liegt bei etwa 1000Ω , der genaue Wert ist aber spannungsabhängig – je kleiner die angelegte Spannung, desto größer ist der Widerstand. In dem unten beschriebenen Experiment sind die Ströme aber so klein, das nichts passieren kann.

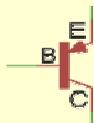
Wann wird es gefährlich?

Ob der Strom für den Menschen gefährlich ist, hängt von mehreren Faktoren ab: Der Spannung, der Stromstärke, der Einwirkdauer und dem Weg, der den Strom durch den Körper nimmt, ab. Als „berührungsfählich“ gelten Spannungen von 60 V Gleichspannung bzw. 25 V Wechselspannung und Stromstärken von 12 mA Gleichstrom bzw. 3 mA Wechselstrom (nach den „Richtlinien für Sicherheit im Unterricht“, S.66). Besondere Gefahren gehen von Wechselspannung aus, da diese die Impulse in den Muskeln stören kann, sodass man nicht mehr in der Lage ist, sich zu bewegen („Loslassenschwelle“).

Der Aufbau – Ziel dieses Experimentes ist es einen Stromkreis zu schließen und dabei nur die eigenen Finger zu benutzen. Dazu sind an zwei Enden der „Schatzkiste“ metallene Kontaktflächen (JP1 und JP2 im Schaltplan) angebracht, die mit der Auswertungs elektronik verbunden sind (s. Abb. 2). Berührt man beide gleichzeitig, so kann, da der menschliche Körper leitend ist, ein kleiner Strom zwischen ihnen fließen, der durch den Widerstand R1 bei den verwendeten 12 V Betriebsspannung auf 0,12

Transistor als Schalter:

Nur wenn zwischen der Basis (B) und dem Emitter (E) ein Strom fließt, fließt auch zwischen Emitter und Collector (C) ein Strom, der dann sogar verstärkt ist.



mA begrenzt wird: *Er wird vom Menschen also weder bemerkt, noch ist er gefährlich!* Der Kondensator C1 wird über den Widerstand R1 aufgeladen. Hat die Spannung dort einen gewissen Wert erreicht, dann kann zwischen dem Emitter und dem Collector des Transistors ein Strom fließen. Durch die verstärkende Wirkung des Transistors ist dieser ungefähr 250-mal größer als der zwischen Emitter und Basis. Sie bestimmt dann die Spannung, die an R2 und R3 abfällt. Mit R3 und R4, einem Spannungsteiler, kann die Basis-Emitter-

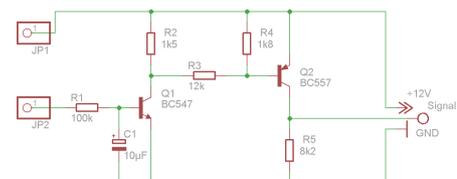
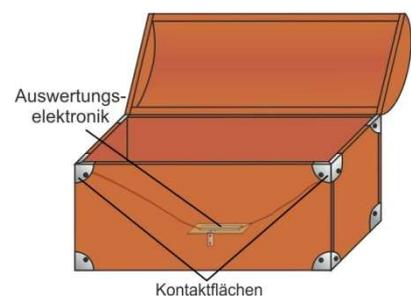


Abb. 2 : Anordnung in der Schatzkiste und Schaltplan der Auswertungs elektronik

Der Kondensator C1 wird über den Widerstand R1 aufgeladen. Hat die Spannung dort einen gewissen Wert erreicht, dann kann zwischen dem Emitter und dem Collector des Transistors ein Strom fließen. Durch die verstärkende Wirkung des Transistors ist dieser ungefähr 250-mal größer als der zwischen Emitter und Basis. Sie bestimmt dann die Spannung, die an R2 und R3 abfällt. Mit R3 und R4, einem Spannungsteiler, kann die Basis-Emitter-



Spannung eingestellt werden, für die Q2 dann durchschaltet. Das passiert, wenn der Strom durch den Menschen bei etwa 0,016 mA liegt – also auch schon bei kleineren Spannungen. Wenn Q2 dann durchgeschaltet ist, sind die +12 V mit dem Signalausgang verbunden und das Schloss wird freigeschaltet.

Das Peltier-Element – Ladungen wird „ingeheizt“

Die Physik – Elektrische Energie kann auf die unterschiedlichsten Wege gewonnen werden: Durch chemische Reaktionen, wie in einer Batterie, durch Licht in einer Solarzelle oder durch Bewegung in einem Dynamo. Aber auch Temperaturunterschiede können benutzt werden, um Strom zu erzeugen. Verbindet man einen Leiter an den Enden mit einem zweiten und erwärmt eine der Kontaktstellen, so wird in dem Kreis eine Spannung messbar (s. Abb. 3). Dieses Phänomen wird *Seebeck-Effekt* genannt. Da beide Metalle Leiter sind, bewegen sich die Ladungen zunächst frei und völlig zufällig in und zwischen ihnen hin und her. Die Metalle unterscheiden sich aber in ihrer *Austrittsarbeit*, d.h. es ist für die Ladungen leichter, sich von dem ersten Leiter in den zweiten zu bewegen als umgekehrt. Man kann sich die Kontaktstellen wie Trichter vorstellen, durch die die Ladungen bevorzugt nur in eine Richtung wandern. Nach einer Zeit befinden sich in der Mitte also mehr Ladungen, als in den äußeren Bereichen. An den Kontaktstellen kann man also jeweils eine kleine *Berührungsspannung* messen. Diese sind gleich stark und gleichen sich gegenseitig aus, sodass insgesamt keine Spannung messbar ist. Wenn man nun aber eine der Kontaktstellen erwärmt, so ändert sich die Spannung dort, da die Ladungen durch die Wärme mehr Energie haben und leichter in beiden Richtungen wandern können. Die Spannungen an den Kontaktstellen sind also nicht mehr gleich groß und es wird insgesamt eine Spannung messbar. Je größer der Temperaturunterschied zwischen den beiden Kontaktstellen ist, desto stärker ist der Effekt. Man erhält also eine höhere Spannung, wenn man das andere Ende zusätzlich herunterkühlt.

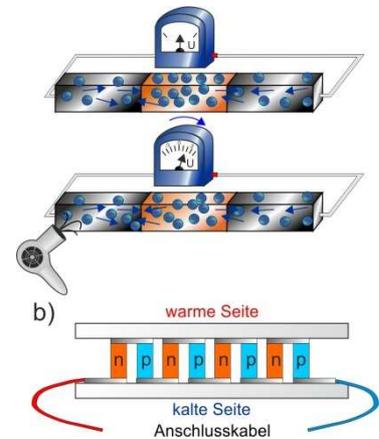


Abb. 3: a) Erzeugung einer Thermospannung und b) Aufbau eines Peltier-Elements

Temperatur:

Die Temperatur ist auch eine Maß dafür, wie schnell sich die Teilchen im Inneren eines Objektes bewegen. Je höher die Temperatur ist, desto schneller bewegen sich die Teilchen.

wandern können. Die Spannungen an den Kontaktstellen sind also nicht mehr gleich groß und es wird insgesamt eine Spannung messbar. Je größer der Temperaturunterschied zwischen den beiden Kontaktstellen ist, desto stärker ist der Effekt. Man erhält also eine höhere Spannung, wenn man das andere Ende zusätzlich herunterkühlt.

Die Spannungen, die durch den Temperaturunterschied entstehen sind sehr gering, besonders gut kann man den Seebeck-Effekt deshalb mit einem *Peltier-Element* zeigen. Dort sind verschiedene Übergänge zwischen Metallstreifen und p- und n-dotierten Halbleiterblöcken in Reihe geschaltet (s. Abb. 3.b)), sodass zwischen den beiden Anschlusskabeln eine größere Spannung messbar wird. Geschützt sind die Verbindungen dann durch zwei Keramikplatten.

Der Aufbau – Bei diesem Experiment ist ein Peltier-Element auf einer metallischen Tragplatte befestigt, die hilft, die eine Seite zu kühlen. Legt man ein heißes Objekt auf die Oberfläche des Peltier-Elements, so entsteht zwischen den beiden Anschlüssen wie oben beschrieben eine Spannung. Diese wird in der Auswertungs elektronik durch einen Komparator (IC1A) mit einem festgestellten Wert verglichen, der mit dem Potentiometer R5 festgelegt werden kann. Ist die Spannung des Peltier-Elements hoch genug, d.h. war der Gegenstand heiß genug, wird der Ausgang des Komparators aktiviert und der Transistor wird durchgeschaltet. Dann ist der Signalausgang der Elektronik mit den 12 V Betriebsspannung verbunden und das Schloss kann freigegeben werden.

Komparator:

Wenn Wert1 größer als Wert2 ist, wird der Ausgang Q aktiviert und erzeugt ein Signal.

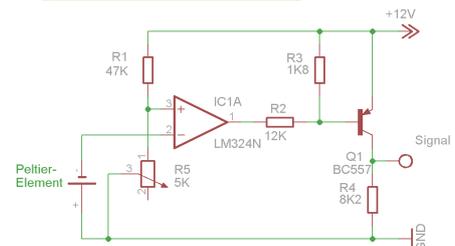
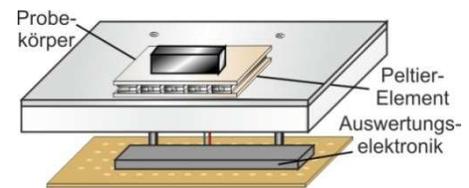
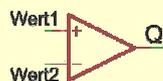


Abb. 4: Schnitt durch den Aufbau und Schaltplan der Auswertungs elektronik

Weitere Informationen zu „Jugend forscht“, der Schule und den Aktivitäten der AG unter: