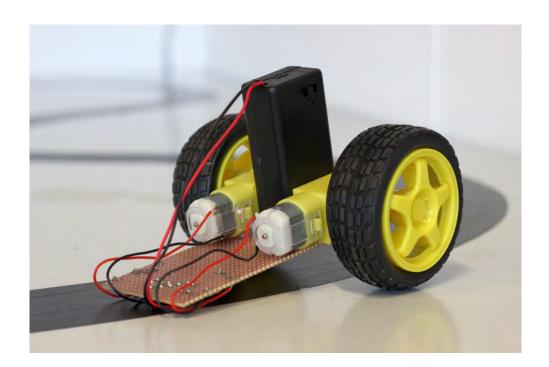


# Projekt: Elektromobil Ein elektronischer Linienfolger



das Elektrotechnik- und Informatik-Labor der Fakultät IV http://www.dein-labor.tu-berlin.de





## **Handout zum Projekt:**

## **Elektromobil**

Ein elektronischer Linienfolger

## **Inhaltsverzeichnis**

1	1 Einleitung							
2	Der Linienfolger	2						
3	Grundlagen der Elektrotechnik und Bauelemente							
	3.1 Strom		. 3					
	3.2 Spannung		. 3					
	3.3 Widerstand		. 4					
	3.4 Diode		. 6					
	3.5 Transistor		. 7					
	3.6 Der Reflexkoppler als Sensor		. 8					
	3.7 Gleichstrommotor		. 9					
	3.8 Reflexkoppler		. 11					
4	Die Schaltung		13					
5	Aufbau		16					

# 1 Einleitung

Liebe Schülerinnen und Schüler,

Wir freuen uns, dass du an unserem Projekt *Elektromobil – Ein elektronischer Linienfolge*, teilnimmst

Wir sind immer dabei, für euch tolle Projekte zu entwickeln, die ihr auch zu Hause nachbauen könnt. Wenn Ihr mal eine Idee für ein neues Projekt habt, dann schreibt uns doch einfach mal eine Mail (info@dein-labor.tu-berlin.de).

Ihr findet andere Projekte auf unserer Website: http://www.dein-labor.tu-berlin.de/

So, nun noch viel Spaß beim Basteln und möge der schnellste Linienfolger gewinnen.

Viele Grüße Dein dEIn-Labor-Team



## 2 Der Linienfolger

Das Ziel unseres Projektes ist ein kleiner Roboter, der auf einer Linie entlangfährt. Aber wie machen wir das?

Wir brauchen erst einmal einen Plan.

- Einen fahrbaren Untersatz mit Rädern und Motoren
- Eine Art Auge oder Sensor, welches kontrolliert, ob wir noch auf der Linie sind oder nicht
- Eine Steuerung, die uns wieder auf die Linie lenken lässt.

Der große Trick bei diesem Projekt ist die Steuerung des Elektromobils mit Hilfe des Sensors, der nach unten auf den Boden »schaut«. Je nachdem, ob er eine helle oder eine dunkle Fläche »sieht«, wird entweder der linke oder der rechte Motor angetrieben. Es dreht sich also immer nur ein Rad. Was passiert mit einem zweirädrigen Auto, bei dem sich nur das rechte Rad dreht? Richtig, es fährt eine Linkskurve. Dreht sich nur das linke Rad, so fährt das Auto eine Rechtskurve. Und wenn ein Auto abwechselnd in Rechts- und in Linkskurven fährt, dann bewegt es sich vorwärts, wenn auch in Schlangenlinien. So ein Elektromobil nennt man auch *Linienfolger*.

In Abbildung 1 siehst du von oben, wie das Elektromobil um den Rand der schwarzen fetten Linie pendelt und sich dabei vorwärts bewegt. Das Rad, das sich gerade dreht, ist grün markiert. Das andere Rad, das gerade stillsteht, ist rot markiert.

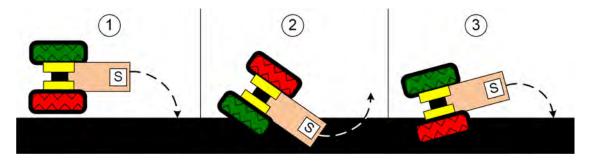


Abbildung 1: Bewegung eines Linienfolgers

Der Sensor ist das mit »S« beschriftete Quadrat. Er sitzt vorne an der Unterseite des Elektromobils. Wenn der Boden unter dem Sensor weiß ist (1), dann bewegt sich das Mobil nach rechts, weil sich das linke Rad dreht. Es fährt bis auf die schwarze Linie. Plötzlich ist der Boden unter dem Sensor schwarz (2). Nun dreht sich das rechte Rad. Das Mobil zieht nach links, bis der Rand der Linie überfahren wurde und der Sensor wieder eine weiße Fläche unter sich hat. Nun folgt wieder eine Rechtskurve (3). Und so pendelt das Mobil immer zwischen dem weißen Bereich außerhalb der schwarzen Linie und der schwarzen Linie selbst hin und her und schlängelt sich vorwärts. Das funktioniert auch, wenn die Linie gebogen ist oder sogar einen Rundkurs bildet. Dann kann dein Elektromobil ganz alleine Runde für Runde »autonom« fahren (beziehungsweise pendeln).

Damit du verstehst, wie das realisiert wird, wollen wir als erstes ein paar elektrotechnische Grundlagen erklären.



## 3 Grundlagen der Elektrotechnik und Bauelemente

Die Elektrotechnik findet man an jeder Straßenecke. Überall blinkt es, große Leuchttafeln erzählen uns, was wir als nächstes kaufen sollen, und zu Hause flimmern im Fernseher die neuesten Nachrichten vor sich hin. Aber auch in der Natur finden wir die Elektrotechnik: wenn die grauen, dunklen Wolken am Himmel ihre Blitze zucken lassen.

Richtig, ein Blitz ist reine Elektrizität. Die Elektrotechnik hat sich zur Aufgabe gemacht die Elektrizität näher zu erforschen und dessen Auswirkungen zum Wohle der Menschheit einzusetzen. Wir lassen damit Lampen leuchten, Motoren drehen oder Musik erklingen.



#### **WICHTIG**

Die Elektrotechnik beschäftigt sich mit der Änderung von Strom und Spannung.

Aber was ist Strom und was ist Spannung?

#### 3.1 Strom

Wenn man von einer "Strömung im Fluss" spricht, weiß jeder, was damit gemeint ist. Wenn ein Fluss schnell fließt, dann hat er eine hohe Strömung. Das Gleiche gibt es in der Elektrotechnik. Statt Wasser haben wir ganz kleine Teilchen, die sich in einem Draht bewegen. Wir nennen diese Teilchen Ladungsträger.



#### **WICHTIG**

Wenn sich in der Elektrotechnik Ladungsträger bewegen, spricht man von Strom. Formelzeichen: I für die Stromstärke

Einheit: A zum Andenken an den Physiker André Marie Ampère, gesprochen "Ampehr"

#### 3.2 Spannung

Wie fließt ein Fluss? Natürlich nur bergab, denn an dem Wasser zieht eine Kraft. Die Kraft ist die Anziehungskraft der Erde. Alles will nach unten, ein Apfel, den ich fallen lasse oder das Wasser, welches bergab fließt. In der Elektrotechnik gibt es ebenfalls so eine Kraft, diese nennen wir Spannung. Und wenn wir eine Spannung anlegen, dann bewegen sich Ladungsträger, also fließt ein Strom.





#### WICHTIG

Eine Spannung ist eine Kraft, die Ladungsträger in Bewegung setzt.

Formelzeichen: U

Einheit: V zum Andenken an den Physiker Alessandro Volta, gesprochen "Volt".

In der Elektrotechnik gibt es Schaltungssymbole, damit jeder elektrotechnisch Begeisterte auf der Welt weiß, was man in einer Schaltung meint. Hier das Symbol für eine Spannungsquelle:



Abbildung 3.2 Schaltungssymbol für Spannungsquelle

Wir haben Spannung und Strom kennen gelernt. Jetzt brauchen wir noch die Werkzeuge, die es uns ermöglichen Strom und Spannung zu ändern.

#### 3.3 Widerstand

Widerstand ist, wenn man sich gegen etwas wehrt! Das Bauelement *Widerstand* macht dies auch, es "wehrt sich" gegen den Stromfluss. Um es sich bildlich vorzustellen, nehmen wir einen Wasserschlauch. Das Wasser ist wieder unsere Wolke aus Ladungsträgern, und die Pumpe erzeugt eine Kraft, wie die Anziehungskraft, welche an dem Fluss zieht, also eine Spannung. Das Wasser sprudelt ungehindert aus dem Schlauch. Jetzt stellen wir uns vor, wir stellen uns auf den Schlauch!

Das Wasser hört sofort auf zu fließen. Nehmen wir den Fuß langsam runter, läuft das Wasser erst langsam und dann immer schneller! Der Fuß stellt ein Widerstand für das Wasser dar.



## **WICHTIG**

Je höher der Widerstand ist, desto mehr Spannung brauchen wir, um einen bestimmten Strom hindurch fließen zu lassen.

Formelzeichen: R

Einheit:  $\Omega$ , gesprochen "Oh" (zum Andenken an den Physiker Georg Simon Ohm)

Zwischen Strom, Spannung und Widerstand gibt es einen Zusammenhang: das *Ohmsche Gesetz*, das besagt, dass sich Strom und Spannung immer in einem Verhältnis ändern. Dieses Verhältnis ist der Widerstand *R*.

$$R = \frac{U}{I}$$

Nun können wir mehr oder weniger Ladungsträger durch einen Widerstand fließen lassen, also





Abbildung 3: Widerstand: Bauelement (links) und Schaltungssymbol (rechts)

mehr oder weniger Strom. Schauen wir uns dazu das folgende Beispiel an:

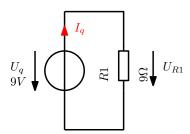


Abbildung 3.4 Strom durch R1

Wir suchen den Strom  $I_q$  in unserer Schaltung. Dazu brauchen wir die Spannung an dem Widerstand R1. Dazu muss man wissen, dass alle Spannungen in einer Schaltung zusammengerechnet Null ergeben müssen. Mit dieser Bedingung kommen wir auf die Spannung  $U_{R1}$ . Wir rechnen  $0 = U_q - U_{R1}$ . Warum  $-U_{R1}$ ?

Wir starten in Richtung des Pfeiles  $U_q$ . Alle Pfeile, die in die gleiche Richtung laufen, werden addiert, und alle, die entgegen laufen, werden subtrahiert.  $U_{R1}$  läuft entgegen und wird daher subtrahiert.

Stellen wir die Gleichung um, so werden wir sehen, dass  $U_{R1} = U_q$  ist.

Unter  $U_q$  steht 9V, und da die Spannung über R1 die gleiche ist, liegt an dem Widerstand die Spannung von 9V an. Jetzt können wir die Stromstärke ausrechnen:

$$I_q = \frac{U_q}{R1} = \frac{9V}{9\Omega} = 1A$$

Um den Wert eines Widerstands abzulesen, muss man die Farben der aufgedruckten Ringe (siehe Abbildung 5) interpretieren. Es gibt meistens vier oder fünf Ringe. Bei vier Ringen entsprechen die ersten beiden Ziffern dem Zahlenwert, der dritte steht für einen Multiplikator, mit dem der Zahlenwert multipliziert wird. Bei 5 Ringen ist es ähnlich, nur stehen hier die ersten drei Ziffern für den Zahlenwert, und der vierte Ring steht für den Multiplikator.

Der in Abbildung 3 gezeigte Widerstand hat vier Ringe mit den Farben Braun-Schwarz-Rot-Gold. Weil Gold und Silber nicht an erster Stelle stehen dürfen, wissen wir, dass Braun der erste, und Schwarz der zweite Ring ist. Der Tabelle können wir nun entnehmen, dass sie den Zahlenwert 10 darstellen, der Multiplikator (Rot) ist  $100\Omega$ . Der Widerstandswert ist also:  $10*100\Omega = 1000\Omega = 1k\Omega$ .



Der letzte Ring (Gold) sagt etwas darüber aus, wie zuverlässig diese Angabe ist, denn bei der Produktion gibt es immer gewisse Abweichungen vom Sollwert. In diesem Fall ist es Gold, somit ist die Abweichung garantiert kleiner als 5% des Widerstandswertes, also  $+/-50\Omega$ .

Farbe		1. + 2. (+ 3.) Ring	3 (4.) Ring (Multiplikator)	4. (5.) Ring (Toleranz)
	Gold.	-	0,1Ω	5%
	Silber	-	0.01Ω	10%
	Schwarz	0	1Ω	-
	Braun	1	10Ω	1%
	Rot	2	100Ω	2%
	Orange	3	1kΩ	-
	Gelb	4	10kΩ	-
	Grün	5	100kΩ	0.5%
	Blau	6	1ΜΩ	0.25%
	Violett	7	10ΜΩ	0.1%
	Grau	8	-	-
	Weiß	9	-	-

Abbildung 5: Farbcode von Widerständen

Extrem wichtig !!! Elektroniker sind faul. Sie haben sich angewöhnt, bei sehr großen Zahlen nicht immer alle Stellen auszuschreiben, sondern sie mit Buchstaben abzukürzen. Dabei gibt es für jeweils einen Faktor von tausend einen anderen Buchstaben. Statt  $120000\Omega$  würde man einfach  $120k\Omega$  schreiben. Es ist in einer Schaltung natürlich nicht egal, ob der Widerstand (oder ein beliebiges anderes Bauelement) plötzlich um den Faktor 1000 größer oder kleiner ist! Ein vergessenes oder überlesenes k oder M ist häufig der Grund dafür, warum die aufgebaute Schaltung nicht das tut, was sie tun soll.

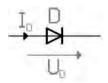
Potenz	Faktor	Abkürzung
10 <sup>6</sup>	1000000	M (Mega)
10 <sup>3</sup>	1000	k (Kilo)
10º	1	-
10 <sup>-3</sup>	0.001	m ( <i>Milli</i> )
10 <sup>-6</sup>	0.000001	U (Mikro)
10 <sup>-9</sup>	0.00000001	n ( <i>Nano</i> )

#### 3.4 Diode

Dioden sind vergleichbar mit einem Ventil. Sie lassen den Strom nur in eine bestimmte Richtung durch (genannt Durchlassrichtung), in die andere Richtung sperren sie. Es verschiedene Typen von Dioden. Eine spezielle Diode ist die Leuchtdiode (Kurzform LED für *Licht emittierende Diode*). Wird durch eine Leuchtdiode ein Strom geschickt, strahlt diese Licht ab.

Bei unserem Projekt ist dieses Licht im infraroten Bereich und daher für uns nicht sichtbar. Wir können es aber mit einer Digitalkamera sichtbar machen, da diese auch für infrarotes Licht empfänglich ist.





Bei allen Dioden wird auch in Durchlassrichtung Strom erst dann fließen, wenn mindestens eine bestimmte Spannung anliegt. Bei den meisten (nicht leuchtenden) Dioden sind das ungefähr 0,7 Volt, bei LEDs zwischen 1,5 und 4 Volt. Dies kann man einem Datenblatt entnehmen.

Es gibt noch etwas, auf das man achten muss: Weil Dioden von sich aus den Strom nicht begrenzen, darf man sie niemals ohne Widerstand (genannt Vorwiderstand) an eine Spannungsquelle anschließen, damit der Durchlassstrom, der ungefähr 20mA beträgt, nicht überschritten wird. Bei einer LED dürfen die 50mA nicht überschritten werden. Sonst fließt ein nahezu unbegrenzt hoher Strom, der sehr schnell zum Tod des Bauelementes führen wird. Der Vorwiderstand berechnet sich nach der Formel:

$$R_{Vor} = \frac{U_B - U_D}{I_D}$$

 $R_{Vor}$ : gesuchter Vorwiderstand,  $U_B$ : vorhandene Betriebsspannung,

 $U_D$ : Durchlassspannung der Diode (aus Datenblatt),

*I*<sub>D</sub>: Durchlassstrom der Diode (aus Datenblatt)

Zusätzlich muss auf die Polarität der Dioden geachtet werden. Die Anschlussdrähte sind bei LEDs unterschiedlich lang. Der kurze Anschlussdraht kennzeichnet die *Kathode* (K, Kathode = Kurz). Die Kathode ist der negative Anschluss der Diode. Der andere Anschluss heißt *Anode* (A).

#### 3.5 Transistor

Ein Transistor ist ein elektronisches Halbleiterbauelement, das zum Schalten und Verstärken von elektrischem Strom verwendet wird.

#### **Bipolarer Transistor**

Jeder bipolare Transistor besteht aus drei dünnen Halbleiterschichten, die übereinander gelegt sind. Sie sind mit metallischen Anschlüssen versehen, die aus dem Gehäuse herausführen. Die Außenschichten des bipolaren Transistors werden Kollektor(C) und Emitter(E) genannt. Die mittlere Schicht hat die Bezeichnung Basis(B). Mit ihr kann der Transistor gesteuert werden. Diese mittlere Schicht ist gegenüber den beiden anderen Schichten besonders dünn.

#### **Funktionsweise eines Transistors**

Man kann sehr schnell erkennen, dass es hier zwei PN-übergänge gibt: Von der Basis (B) zum Emitter (E) und von der Basis (B) zum Kollektor (C). Legen wir eine Spannung von mehr als 0.7V zwischen Basis und Emitter an  $(U_{BE})$ , so leitet diese Diode. Da die P-Schicht aber sehr klein ist und die Spannung am Kollektor auch Ladungsträger ansaugt, "fliegen" die meisten Elektronen zum Kollektor. Dadurch leitet der Transistor Strom vom Kollektor zum Emitter  $(I_C)$ .

Legt man keine Spannung (0V) an die Basis an, so leitet die Diode zwischen Basis (B) und Emitter (E) nicht und dadurch fließt auch kein Strom zwischen Kollektor (C) und Emitter (E).



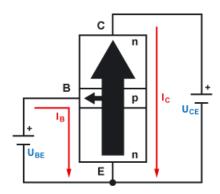


Abbildung 6: Bipolarer Transistor

Dadurch ist es möglich, mit einem sehr geringen Basisstrom  $I_B$  einen viel größeren Kollektorstrom  $I_C$  zu steuern.

## 3.6 Der Reflexkoppler als Sensor

Unser Reflexkoppler besteht aus einer infraroten LED (Lampe) und einem lichtempfindlichen Transistor (Phototransistor) als Sensor. Die LED strahlt dabei auf den Boden und der Phototransistor nimmt das reflektierte Licht auf.

#### **Phototransistor**

Ein Phototransistor ist ein Transistor, der aber nicht durch den Basisstrom sondern durch einfallendes Licht gesteuert wird.

Die Basis des Transistors wird dafür mit einem Fenster versehen, damit viel Licht einfallen kann. Die einfallenden Lichtteilchen (Photonen) haben so viel Energie, dass sie Ladungsträger aus der Basis herauslösen und so die Basis-Emitter-Diode leitend machen. Wir wissen ja, dass der Transistor leitet, wenn die Basis-Emitter Diode leitet.

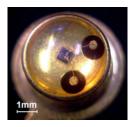


Abbildung 7: Phototransistor Nahaufnahme



#### 3.7 Gleichstrommotor

Der Elektromotor ist ein Bauteil, welches die elektrische Energie in eine Bewegung umsetzt. Zum Vorrausetzung dafür ist das Prinzip, das bewegte Ladungsträger ein Magnetfeld erzeugen. Also fangen wir am besten damit an.

#### Magnetfeld

Das Magnetfeld bildet die Grundlage für die Funktion eines Motors. Wir wissen alle, dass ein Magnet zwei Pole hat: Einen Nordpol und einen Südpol. Dazwischen wirkt eine unsichtbare Kraft: Das Magnetfeld.

Die Physiker kürzen das Feld meistens mit einem *B* ab und zeichnen sogenannte Feldlinien ein, die vom Nord zum Südpol laufen. Das Feld hat also eine Richtung und zwar vom Nordpol zum Südpol. Wir wissen, dass sich zwei Magnete abstoßen und anziehen können. Das liegt daran, dass wenn die beiden Felder in dieselbe Richtung zeigen, das Feld von beiden größer wird, wodurch sie sich abstoßen. Wenn die Feldlinien in entgegengesetzte Richtung zeigen, dann löschen sich die Feldlinien aus und die Magneten ziehen sie sich an.

#### Elektromagnet

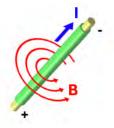


Abbildung 8: Magnetisches Feld eines stromdurchflossenen Leiters

Ein stromdurchflossener Leiter, also ein Draht, baut um sich herum ein Magnetfeld auf. Mit der Rechten-Hand-Regel kann man sehr schnell herausfinden, in welche Richtung es zeigt. Dazu nimmt man die rechte Hand und legt sie um den Leiter; der Daumen sollt dabei in Stromrichtung zeigen. Dann zeigen deine restlichen Finger in dieselbe Richtung, wie das Magnetfeld.

Ein Elektromagnet besteht aus einer stromdurchflossenen Spule. Eine Spule ist ein einfacher Draht, der aufgewickelt wurde. Dadurch erreicht man, dass sich die Magnetfelder der einzelnen Wicklungen addieren. Das resultierende Magnetfeld ist im Inneren der Spule gebündelt und sieht fast so aus wie das Magnetfeld eines Dauermagneten der im Inneren der Spule liegen würde.

Der Vorteil ist, dass wir den Magneten ein und ausschalten und sogar die Polarität ändern können. Indem man die Stromrichtung umdreht, ändert man auch die Richtung des Magnetfeldes.



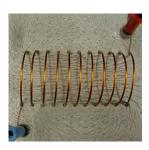


Abbildung 9: Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule

#### **Aufbau eines Gleichstrommotors**

Ein Gleichstrommotor besteht aus einem Stator, der meistens ein Dauermagnet ist, und einem Rotor, welcher ein Elektromagnet ist.

Der Rotor kann um seine eigene Achse drehen, an der wir später z.B. ein Rad befestigen können. Je nachdem in welche Richtung man den Strom durch die Spule des Elektromagneten fließen lässt, tauscht man den Nord- und Südpol um.

Nehmen wir an, dass der linke Bereich des Stators der Nordpol unseres Dauermagneten ist. Jetzt lassen wir den Strom durch unseren Elektromagneten fließen. Es bilden sich ein Nord- und ein Südpol am Rotor und dieser dreht sich so, dass der Südpol des Rotors zum Nordpol des Stators (also nach links) zeigt. Der Motor hat sich zwar gedreht, aber nur ein Stück.

Wenn wir den Rotor umdrehen wollten, dann müssten wir nur den Strom durch den Elektromagneten in die andere Richtung fließen lassen. Dazu benutzt man in einem Gleichstrommotor einen sogenannten Kommutator. In der Abbildung 10 ist das das Rad, was vor dem Rotor zu sehen ist. Es besteht aus zwei metallischen Bereichen, die nicht miteinander, aber dafür mit den Anschlüssen des Elektromagneten verbunden sind.

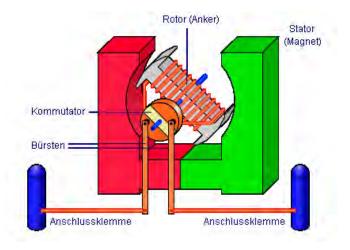


Abbildung 10: Aufbau eines Gleichstrommotors





Der Kommutator sitzt fest auf der Achse, um die sich der Rotor dreht, d.h. die Anschlüsse des Elektromotors drehen sich genauso schnell wie der Motor. Jetzt kontaktieren wir den Kommutator einfach mit zwei Schleifkontakten, die wir Bürsten nennen. Die Bürsten drehen sich nicht mit.

Wenn nun ein Strom an die Anschlussklemmen angelegt wird, fängt der Motor an sich zu drehen und der Kommutator dreht sich mit. Kurz bevor er sich soweit gedreht hat, dass sich Nord-und Südpol wieder gegenüberstehen, erreichen die Bürsten den Bereich des Kommutators, welcher kein Metall hat. Nun ist der Elektromagnet abgeschaltet. Weil sich der Rotor aber gerade noch gedreht hat, dreht er mit dem Schwung, den er noch hat, ein kleines Stück weiter und die Bürsten erreichen wieder Metall. Diesmal fließt der Strom jedoch genau andersherum durch die Spule. Nord- und Südpol haben sich also vertauscht und der Rotor probiert sich zur anderen Seite zu drehen. Dort passiert aber wieder dasselbe: Der Kommutator wechselt die Stromrichtung in der Spule und der Rotor dreht sich weiter. Da das ständig nacheinander passiert, dreht sich der Gleichstrommotor.

#### 3.8 Reflexkoppler

Der Reflexkoppler steuert in deiner Schaltung die Fahrtrichtung deines Elektromobils: er schaltet je nach Farbe des Untergrunds (schwarz oder weiß) den linken oder den rechten Motor an. In Abbildung 11 kannst du ihn sehen: eine kleine Box mit zwei Löchern auf der Oberseite, wobei in einem der beiden Löcher eine bläuliche LED schimmert.



Abbildung 11: Reflexkoppler

Wenn du ins Innere eines Reflexkopplers schaust oder besser auf sein Schaltbild (Abbildung 12, erkennst du zwei dir bekannte Bauteile: die Leuchtdiode (LED) und den Transistor.

Die LED hat zwei Anschlussbeinchen, genannt Anode (A) und Kathode (K). Der Transistor hat drei Anschlussbeinchen, genannt Basis (B), Kollektor (C) und Emitter (E), wie du vielleicht noch weißt. Du siehst aber, dass nur der Kollektor und Emitter nach außen geführt sind, denn sonst hätte der Reflexkoppler fünf Anschlussbeinchen.

Was machen die LED und der Transistor nun gemeinsam in diesem kleinen Würfel? Bei der Leuchtdiode handelt es sich um eine Infrarot-LED. Sie versteckt sich hinter dem blauen runden



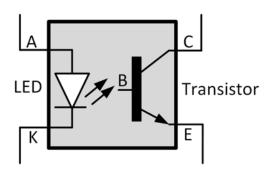


Abbildung 12: Aufbau des Reflexkopplers

Fenster des Reflexkopplers. Ihr Licht kannst du mit bloßem Auge nicht sehen. Durch eine Kamera betrachtet, beispielsweise durch die eines Smartphones, kannst du jedoch die lila leuchtende LED erkennen, wenn Strom durch sie hindurchfließt. Im Schaltbild des Reflexkopplers erkennst du, dass der Basisanschluss des Transistors im Inneren des Reflexkopplers liegt. Die Basis bei diesem Transistor ist ein lichtempfindlicher Sensor, der auf einfallendes Licht reagiert. Die einfallenden Lichtteilchen (Photonen) haben so viel Energie, dass sie wie ein in die Basis fließender Strom wirken und somit den Kollektor-Emitter-Strom einschalten. Einen solchen Transistor nennen wir Phototransistor. Seine lichtempfindliche Basis befindet sich bei unserem Reflexkoppler hinter dem dunklen Fenster auf der Oberseite des Bauteils.

#### Da siehst du schwarz

Du kennst das sicherlich aus dem Sommer. Scheint die Sonne und du hast ein schwarzes T-Shirt an, wird dir ziemlich schnell heiß. Tauschst du dein schwarzes T-Shirt aber gegen ein weißes, erträgst du die heißen Sonnenstrahlen wesentlich besser. Das liegt daran, dass schwarze bzw. dunkle Oberflächen Licht schlucken. Man sagt auch, sie absorbieren das einfallende Licht. Weiße oder helle Oberflächen hingegen werfen die eintreffenden Lichtstrahlen zurück. Man spricht hier davon, dass sie das einfallende Licht reflektieren. Beides siehst du in Abbildung 13.

Diese Eigenschaft von hellen und dunklen Flächen wollen wir auch für unser Elektromobil nutzen. Es soll sich anhand einer schwarzen Linie auf einer weißen Oberfläche orientieren und seinen Weg finden. Um die Linie zu erkennen braucht es einen Helligkeitssensor. Das ist in unserem Fall die lichtempfindliche Basis des Phototransistors hinter dem dunklen Fenster des Reflexkopplers.

Unser Reflexkoppler wird später unten am Elektromobil angebracht, so dass seine zwei kleinen Fenster auf den Boden gerichtet sind. Wird die LED im Reflexkoppler von Strom durchflossen und beginnt zu leuchten, so wird ihr Licht von der Oberfläche des Bodens entweder reflektiert oder absorbiert. Das hängt davon ab, ob das Licht der LED auf den weißen Untergrund oder auf die schwarze Linie strahlt.

Wird das Licht vom Untergrund reflektiert (der Boden ist also hell), so treffen die reflektierten Lichtstrahlen auf den lichtempfindlichen Sensor des Phototransistors. Nun kann der Phototransistor durchsteuern und ein Strom fließt zwischen Kollektor und Emitter. Den wollen wir nutzen, um einen der beiden Motoren zum Drehen zu bringen. Wird das Licht jedoch absorbiert (der Bo-



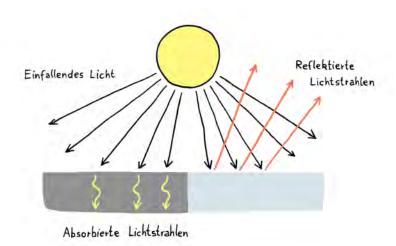


Abbildung 13: Reflektieren und Absorbieren von Lichtstrahlen

den ist also dunkel, weil das Licht auf die schwarze Linie strahlt), dann kann der Phototransistor auch nicht durchschalten. In diesem Fall soll unsere Schaltung den anderen Motor zum Drehen bringen.

Durch dieses abwechselnde An- und Abschalten der beiden Motoren wackelt das kleine Elektromobil also hin und her und folgt der schwarzen Linie in ganz eigenen Schlangenlinien.

# 4 Die Schaltung

Wie realisieren wir nun unsere Idee eines Linienfolgers? Natürlich mit Hilfe der Elektrotechnik. Der Schaltplan ist in Abbildung 14 dargestellt. Hier siehst du, wie die beiden Motoren mit den anderen Bauteilen verbunden sind, um die Räder abhängig von der Untergrundfarbe zum Rollen zu bringen.

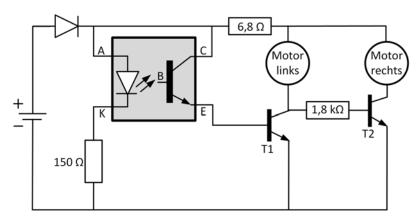


Abbildung 14: Schaltplan



Als Energiequelle verwenden wie in den bisherigen Kapiteln eine 9V-Blockbatterie. Außerdem siehst du den Reflexkoppler, die beiden Motoren, zwei Transistoren, drei Widerstände und eine Diode (diesmal keine LED). Die *Diode* direkt am Pluspol der Batterie dient dazu, die Schaltung zu schützen, falls du aus Versehen die Batterie falsch herum anschließt. In diesem Fall kann kein Strom durch deine Schaltung fließen, weil die Diode dann sperrt. Den *Reflexkoppler* kannst du gut erkennen. In der Schaltung wurde er durch einem Vorwiderstand von  $150\Omega$  zur Strombegrenzung ergänzt, damit seine Infrarot-LED nicht kaputt geht.

Schauen wir uns zunächst an, was passiert, wenn du dein Elektromobil auf weißen Untergrund links neben die fette schwarze Linie setzt. Der Reflexkoppler »sieht« den hellen Untergrund. Der reflektiert das Licht der LED, was dazu führt, dass die lichtempfindliche Basis des im Reflexkoppler eingebauten Transistors so viel Strom bekommt, dass der Transistor im Reflexkoppler durchsteuert. In Abbildung 15 siehst du, wie der Strom nun durch die Kollektor-Emitter-Strecke im Reflexkoppler fließt und damit auch durch die Basis-Emitter-Strecke von Transistor T1.

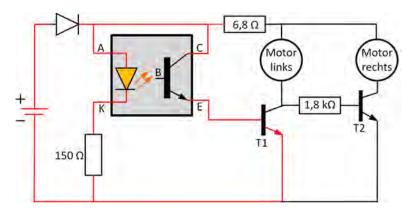


Abbildung 15: Weißer Untergrund: Reflexkoppler steuert durch

Das führt dazu, dass Transistor T1 nun ebenfalls durchsteuert. Es dreht sich der linke Motor, der vom Strom durch die Kollektor-Emitter-Strecke von T1 angetrieben wird.

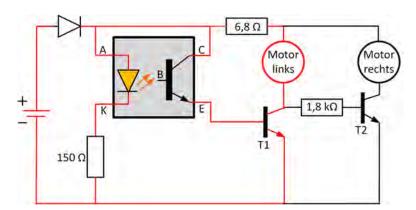


Abbildung 16: Weißer Untergrund: Der linke Motor dreht sich



Kaum hat sich das Auto ein Stück nach rechts bewegt, strahlt die Infrarot-LED schon auf dunklen Untergrund, weil sie die schwarze Linie erreicht hat. Das Licht der Infrarot-LED wird vom Untergrund absorbiert, die lichtempfindliche Basis des im Reflexkoppler eingebauten Transistors bekommt keinen Strom mehr ab. Der Transistor im Reflexkoppler kann also nicht mehr durchsteuern. Da kein Strom durch die Kollektor-Emitter-Strecke im Reflexkoppler fließt und damit auch nicht in die Basis von Transistor T1, sperrt dieser Transistor. Findet der Strom nun einen anderen Weg durch die Schaltung?

Tatsächlich, es gibt noch den Weg über den linken Motor durch den Widerstand von  $1,8k\Omega$  über die Basis-Emitter-Strecke von T2. Den neuen Weg für den Strom siehst du in Abbildung 17. Diesen Weg hat der Strom nicht genommen, solange T1 noch passierbar war, denn über T1 war der Widerstand ja viel geringer. Jetzt aber, wo T1 sperrt, bleibt kein anderer Weg übrig.

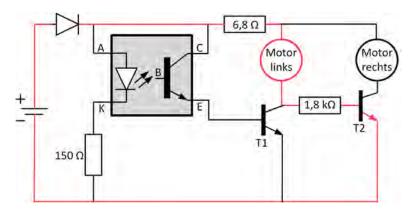


Abbildung 17: Schwarzer Untergrund: Reflexkoppler sperrt

Da nun die Basis-Emitter-Strecke von T2 vom Strom durchflossen wird, kann T2 durchsteuern: der Strom fließt nun über die Kollektor-Emitter-Strecke von T2 und treibt den rechten Motor an, was du in Abbildung 18 sehen kannst. Dieser Motor dreht sich, solange der Untergrund schwarz ist. Das Elektromobil fährt nun eine Linkskurve. »Sieht« der Reflexkoppler wieder eine weiße Fläche unter sich, so beginnt das Spiel von vorne.

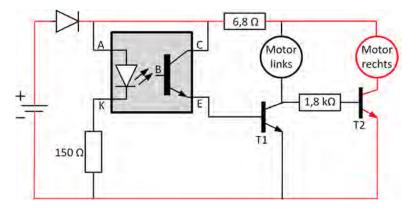
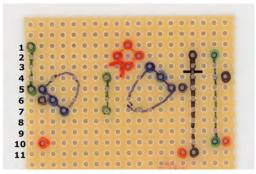


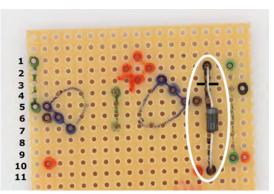
Abbildung 18: Schwarzer Untergrund: Der rechte Motor dreht sich



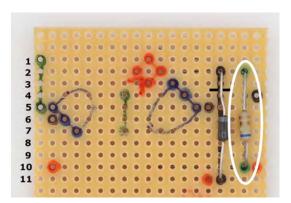
## 5 Aufbau



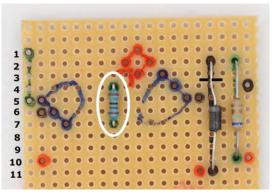
1. Hier siehst Du die leere Platine mit den aufgemalten Positionen für die Bauteile.



2. Baue zuerst die Diode ein. Sie schützt die Schaltung, falls die Batterie versehentlich verkehrt herum angeschlossen wird. Der helle Strich auf dem Bauteil kommt an die Seite mit dem Strich auf der Platine. Löte die Diode in Streifen 2 und Streifen 11.



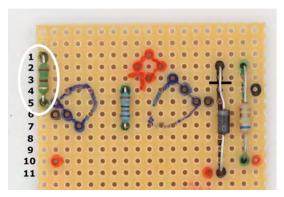
3. Setze als nächstes den  $6,8-\Omega$ -Widerstand neben die Diode in die Platine, in die Streifen 2 und 10, und löte ihn an.



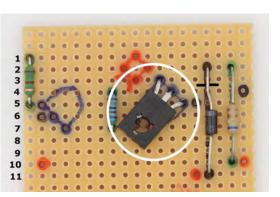
4. Setze den **1,8-k** $\Omega$ **-Widerstand** in die mittlere Markierung auf die Platine in die Streifen 4 und 7, und löte ihn an.



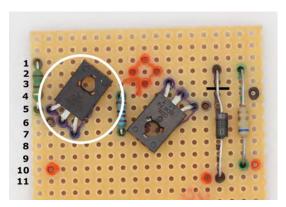




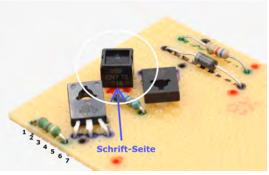
5. Setze den **150-\Omega-Widerstand** in die linke Markierung auf die Platine in die Streifen 1 und 5, und löte ihn an.



6. Setze einen der beiden **Transistoren** (**BD679**) in die Platine. Seine schwarze Seite schaut zur Außenkante der Platine und die silberne Seite nach innen, Stecke die Beine des Transistors erst in die Löcher der Platine (in Streifen 3, 4 und 5) und biege ihn dann flach auf die Platine, so dass die schwarze Seite nach oben gerichtet ist.

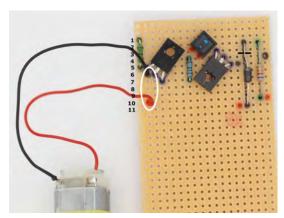


7. Stecke in gleicher Weise den zweiten **Transistor** (**BD679**) in die Platine. Die schwarze Seite des Transistors schaut zur Außenkante der Platine und die silberne Seite zum bereits eingelöteten Transistor. Stecke die Beine des Transistors erst in die Löcher der Platine (in Streifen 5, 6 und 7) und biege ihn dann flach auf die Platine.

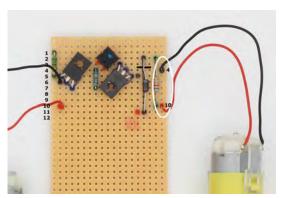


8. Setze den Reflexkoppler in die rot markierten Löcher in die Streifen 1, 2 und 3. Beachte, dass die Seite des Reflexkopplers mit der aufgedruckten Schrift mit der roten Pfeilmarkierung auf der Platine übereinstimmt!

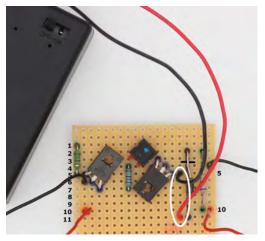




9. Verbinde den ersten Motor (rotes Anschlusskabel rechts) mit der Platine. Stecke das rote und das schwarze Anschlusskabel des Motors auf die Markierung auf der linken Seite der Pölatine in die Streifen 6 und 10 und löte beide Kabel fest.



10. Verbinde auch den zweiten Motor mit der Platine. Stecke das rote und schwarze Anschlusskabel des Motors neben die Diode und den  $6.8\Omega$ -Widerstand in die äußeren Markierungen (Streifen 4 und 10) auf der Platine und löte beide Kabel fest.

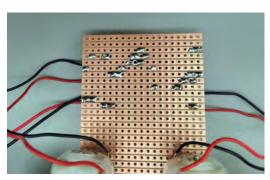


11.Jetzt fehlt nur noch der Batteriehalter. Stecke das rote und schwarze Batteriekabel zwischen die Diode und den Transistor in die Markierungen in Streifen 11 und 5 auf der Platine und löte beide Kabel fest.

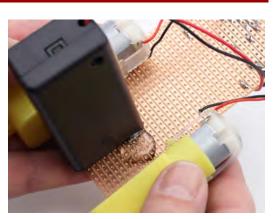
12. Teste einmal deine Schaltung, indem du deine 9V-Batterie im Batteriehalter befestigst und ihn anschaltest. Dein linker Motor sollte sich drehen. Wenn du jetzt ein Stück weißes Papier vor den Reflexkoppler halst, schaltet er um und dein rechter Motor beginnt sich zu drehen. Wenn das funktioniert, gehe zu Schritt 14. Wenn nicht, dann gehe zu Schritt 13.



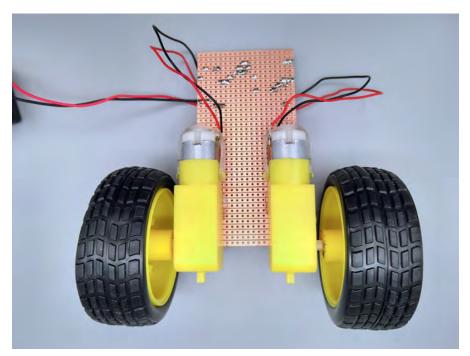




13 Falls die Motoren sich nicht auf die beschriebene Weise drehen, gehe auf Fehlersuche. Prüfe mit deinem Multimeter oder mit scharfen Augen, ob sich Lötbrücken zwischen zwei benachbarten Streifen befinden und entferne sie mithilfe deiner Entlötpumpe. Auf dem Bild siehst du, wie die Platine auf der Kupferseite aussehen sollte, wenn alle Lötstellen in Ordnung sind.



14. Klebe die Motoren auf deine Platine. Nutze als Abstandshalter deinen Batteriehalter. Achte darauf, dass du den Batteriehalter nicht mit an der Platine festklebst. Klebe die Motoren weit hinten auf die Platine, so dass ein Teil des gelben Gehäuses über die Platine nach hinten hinausragt.



Fertig ist dein Elektromobil! Ab auf die Teststrecke.