

# Technische Grundlagen zum Projekt db robotix

## Inhalt:

- ◆ Arduino
- ◆ Spannung, Strom, Widerstand
- ◆ Sicherung
- ◆ Spannungsteiler
- ◆ LED Vorwiderstand
- ◆ Foto-Transistoren
- ◆ Ultraschall
- ◆ Schrittmotor
- ◆ MOSFET
- ◆ Spannungswandler
- ◆ I2C-Bus

Die einzelnen Themen werden so behandelt, dass sie verständlich für Schülerinnen und Schüler sind. Konkrete Bezüge zu den db robotix Komponenten sind grau hinterlegt.

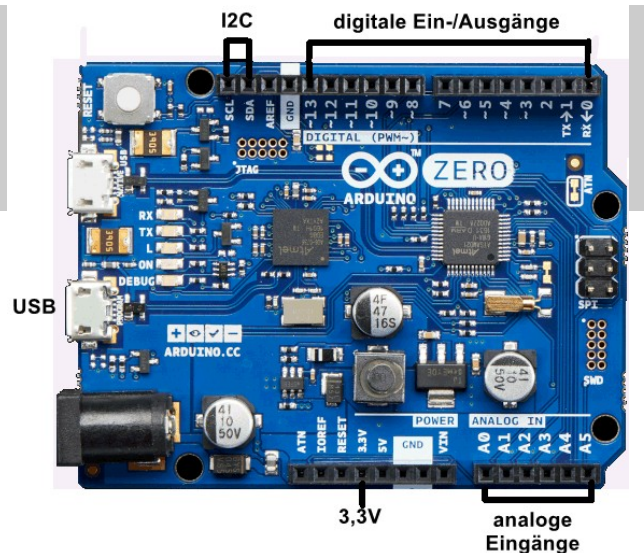
## Arduino

Arduinos sind weit verbreitete kleine Computer (Microcomputer, Microcontroller), die programmiert werden können und sich über elektrische Anschlüsse mit der Außenwelt austauschen können („Schnittstellen“). Damit können zum Beispiel Leuchtdioden oder Motoren angesteuert und Sensorwerte ausgelesen werden.

Die db robotix Komponenten arbeiten fast alle mit einer Spannung von 3,3 V, daher wurde mit dem „Arduino Zero“ auch ein Microcomputer aus- gesucht, der mit 3,3 V arbeitet (die meisten anderen sind für 5 V ausgelegt).

Der Arduino Zero besitzt folgende Schnittstellen:

- 6 Analog-Eingänge (ADC) zur Messung von Spannungen [Liniensensor, Batteriespannung]
- 16 Digitale Ein-/Ausgänge (DIO) [LED-Ansteuerung, Servo-Motoren]
- Einige davon sind für spezielle Kommunikationszwecke ausgelegt: USB oder I2C-Bus (wird später beschrieben).



## Spannung, Strom, Widerstand

Eine Spannungsquelle (Batterie, Akku, Netzteil) ist sozusagen die treibende Kraft der Elektrizität. Der Wert einer Spannung wird in Volt (V) gemessen. So hat eine Batteriezelle eine Spannung von 1,5 V, eine Autobatterie 12 V. In Formeln wird für Spannungen der Buchstabe U verwendet.

Der Akku des Roboters besitzt je nach Ladezustand eine Spannung zwischen 10,5 und 12,5 V.

Die zweite wichtige elektrische Größe ist der Strom, der durch eine Leitung fließt, gemessen in der Einheit Ampere (A). Damit ein Strom fließen kann, muss ein Verbraucher mit der Spannungsquelle verbunden werden. Da der Strom immer im Kreis fließt – von Pluspol der Quelle über den Verbraucher bis zum Minuspol der Quelle – spricht man von einem Stromkreis. Gebräuchliches Formelsymbol für Ströme ist  $I$ .

Die einfachste Art eines Verbrauchers ist ein elektrischer „Widerstand“  $R$ . Er setzt dem Strom einen Widerstand entgegen: je größer der Widerstand, desto kleiner wird der Strom. Der Zusammenhang wird durch das berühmte Ohmsche Gesetz beschrieben:  $I = \frac{U}{R}$  oder  $R = \frac{U}{I}$ .

Als Einheit für Widerstands-Werte ist „Ohm“ festgelegt, abgekürzt mit dem griechischen Buchstaben Omega  $\Omega$ :  $\frac{\text{Volt}}{\text{Ampere}} = \frac{V}{A} = \text{Ohm} = \Omega$

Bei kleineren Strömen (in mA = 1/1000 A):  $\frac{mV}{mA} = \Omega$   $\frac{V}{mA} = k\Omega$  (Kilo-Ohm = 1000 Ohm)

### Sicherung

Fließt durch einen elektrischen Draht ein größerer Strom, erwärmt er sich. Ein dünner Draht wird wärmer als ein dickerer. Ist der Draht sehr dünn (Bruchteile eines Millimeters), kann es passieren, dass er so heiß wird, dass er schmilzt. Dadurch wird der Stromkreis unterbrochen und der Strom Null. Das ist das Grundprinzip einer Schmelz-Sicherung.

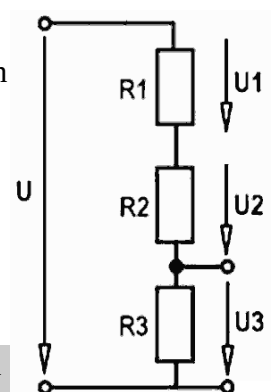
Auf der Platine des Akku-Schutzes befindet sich eine 2,5 Ampere Sicherung. Übersteigt der Strom diese 2,5 A für einige Zeit, schmilzt der innere Sicherungsdraht und der Akku wird so vor Überlastung geschützt. In Falle eines Kurzschlusses wird der Strom so groß, dass die Sicherung in Bruchteilen einer Sekunde auslöst.



### Spannungsteiler

Wird eine Reihenschaltung von Widerständen an eine Spannungsquelle angeschlossen, teilt sich diese Spannung auf die einzelnen Widerstände auf, so dass an jedem der Widerstände nur eine „Teil-Spannung“ vorhanden ist. Dieser Spannungsteiler wird eingesetzt, wenn man eine kleinere Spannung braucht, z.B. zum Messen.

In dem nebenstehenden Bild gilt:  $U_3 = U \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$



Auf dem Arduino-Shield befindet sich ein Spannungsteiler aus den Widerständen 4,7 k $\Omega$ , 1,5 k $\Omega$ , 1 k $\Omega$ , um mit Hilfe eines Analog-Eingangs (ADC) die Akku-Spannung zu überprüfen, denn der Arduino verträgt an den ADC-Eingängen maximal 2,4 Volt.

Bei 14 V Akku-Spannung ist dann  $U_{ADC} = \frac{1 \text{ k}\Omega}{(4,7 + 1,5 + 1) \text{ k}\Omega} \cdot U_{Akku} = \frac{14 \text{ V}}{7,2} = 1,94 \text{ V}$ .

### LED Vorwiderstand

Eine Leuchtdiode (LED) benötigt eine Spannung (Flussspannung  $U_F$ ) und einen Strom  $I$ , der die Helligkeit bestimmt. Man sollte die LED jedoch nicht direkt an eine Spannungsquelle anschließen, weil der Strom dann zu groß wird oder undefiniert ist.

Daher setzt man in Reihe mit der LED einen Vor-Widerstand  $R$ . Um ihn berechnen zu können, benötigt man die Betriebsspannung  $U_B$ , sowie Werte für  $U_F$  und  $I$ .

Die Berechnung ist recht einfach: Die Betriebsspannung teilt sich (wie bei einem Spannungsteiler) auf die LED-Spannung und die Spannung am Widerstand, der wiederum den Strom bestimmt:

$$\text{Strom } I = \frac{\text{Spannung am Widerstand}}{\text{Widerstandswert}} = \frac{\text{Betriebsspannung} - \text{LEDspannung}}{\text{Widerstandswert}} = \frac{U_B - U_F}{R}$$

$$\text{oder: Widerstandswert } R = \frac{\text{Betriebsspannung} - \text{LEDspannung}}{\text{Strom}} = \frac{U_B - U_F}{I}$$

Rote und gelbe LEDs brauchen meist eine Spannung  $U_F$  von etwa 2 Volt, grüne, blaue und weiße etwa 3 Volt.

Der Strom bestimmt die Helligkeit: Soll eine kleine LED sehr hell leuchten, sind 10 – 20 mA angebracht, für Anzeigezwecke reicht vielleicht schon weniger als 1 mA. In vielen Fällen ist der exakte Wert nicht so entscheidend.

Für eine Abschätzung des Widerstands kann man die Erfahrungswerte für  $U_F$  von oben benutzen. Für eine genauere Berechnung misst man in einem zweiten Schritt die wirkliche Spannung an der LED und führt die Berechnung erneut aus.

Die beiden weißen LEDs des Farbsensors A brauchen jeweils einen eigenen Vorwiderstand. Der Strom soll 15 mA betragen (max. 20 mA sind erlaubt). Gemessen wurde eine Spannung an der LED von 2,8 V. Mit der zur Verfügung stehenden Betriebsspannung 3,3 V ergibt sich:

$$R = 500 \text{ mV} / 15 \text{ mA} = 33 \Omega.$$

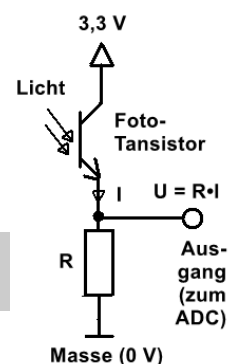
Die rote LED des Liniensensors hat eine gemessene Flussspannung 2,0 V. Mit dem  $33\Omega$ -Vorwiderstand ist der Strom  $I = 1,3 \text{ V} / 33 \Omega = 39 \text{ mA}$ .

### Foto-Transistoren

Diese Bauteile dienen der Lichtmessung. Sie besitzen 2 oder 3 Anschlüsse, von denen aber nur 2 gebraucht werden. Foto-Transistoren erzeugen einen Strom  $I$ , sobald Licht in die Linse fällt. Je heller das Licht, desto größer dieser Strom.

Im Gegensatz zu einer Solarzelle, die selber auch eine Spannung generiert, braucht ein Foto-Transistor eine äußere Spannung zum Betrieb. Und um den Strom zu messen, wird noch ein Widerstand  $R$  eingebaut, um nach dem Ohmschen Gesetz eine Spannung daraus zu bilden:

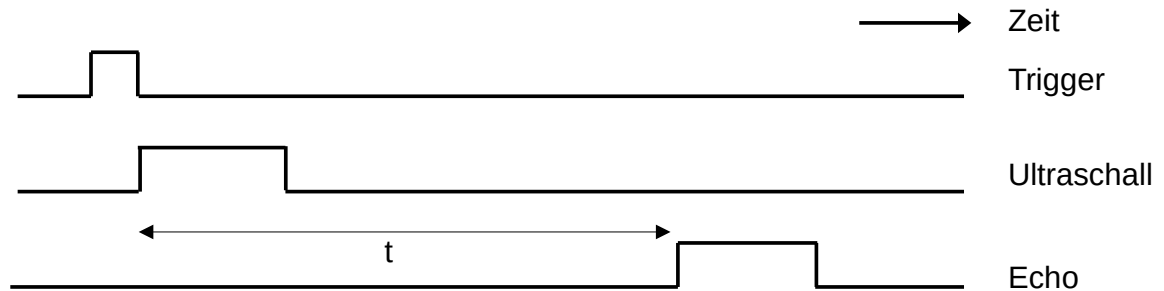
Im Linien-Sensor befinden sich neben einer LED zur Ausleuchtung zwei solcher Foto-Transistoren-Schaltungen.



## Ultraschall

Mit Hilfe des Ultraschall-Sensors lassen sich Abstände messen, z.B. wie weit der Roboter von einer Wand entfernt ist – ähnlich wie die Einparkhilfe beim Auto mit Ultraschall-Sensoren, die in der Stoßstange verbaut sind.

Es gibt fertige arduino-geeignete Module. Sie besitzen vier Anschlüsse: Masse, Versorgungsspannung, Trigger und Echo. Mit einer Triggerspannung von einem Arduino-Ausgang wird ein Ultraschall-signal gesendet. Sobald das Mikrofon den reflektierten Ultraschall empfängt, sendet das Modul über den Echo-Anschluss eine Spannung, die von einem Arduino-Digitaleingang detektiert wird.

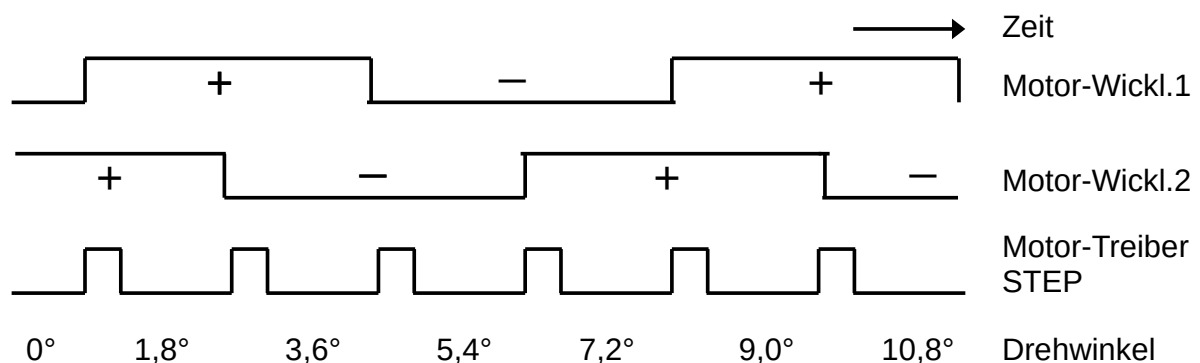


Per Software wird die Zeit-Differenz  $t$  (Laufzeit) ermittelt und über die Schallgeschwindigkeit  $c = 343 \text{ m/s}$  der Abstand  $a$  berechnet:  $a = \frac{t \cdot c}{2}$ .

(Division durch 2, weil der Ultraschall den Abstand zweimal, hin und zurück, durchlaufen muss.)

## Schrittmotor

Im Gegensatz zu den bekannten Gleichstrom-Getriebe-Motoren, die einfach mit einer konstanten Spannung betrieben werden, benötigen Schrittmotoren für jede kleine Bewegung ein elektrisches Signal in Form eines Impulses. Für eine kontinuierliche Bewegung braucht man an den beiden Anschluss-Paaren des Motors (Draht-Wicklungen) vereinfacht die folgenden Spannungsverläufe:



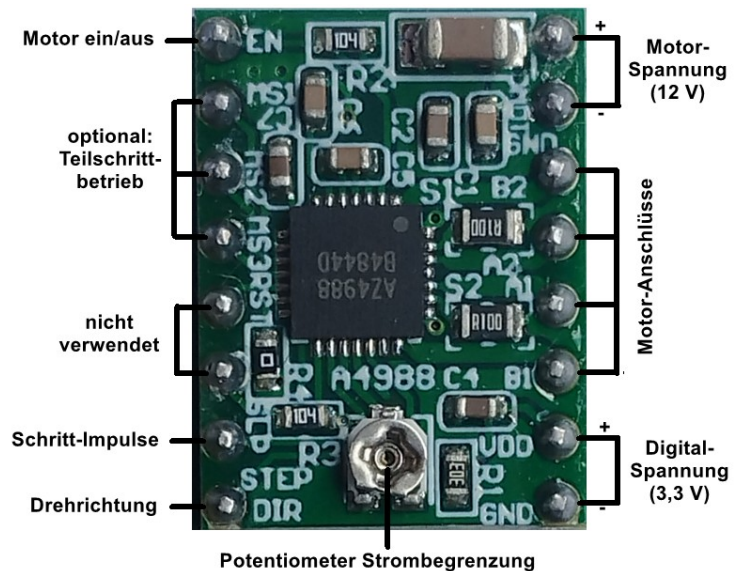
Jeder dieser Impulse (Steps) bewegt die Motorachse um 1,8°, so dass 200 Steps für eine volle Umdrehung benötigt werden. Im so genannten Halbschrittbetrieb wird der Winkel/Step sogar auf 0,9° reduziert, ergibt also 400 Steps/Umdrehung.

Die Motor-Controller-Platine von db robotix ist für diese Halb-Schritte konfiguriert.

Die Verwendung eines Motor-Treibers erleichtert die Ansteuerung eines Schrittmotors ungemein. Häufig wird das Modul A4988 verwendet:

Der Motor sowie die Spannungen für Motor und Digitalschaltung werden auf der rechten Seite angeschlossen. Auf der linken Seite werden drei Verbindungen zu Digitalausgängen eines Microcontrollers (Arduino oder ESP32) benötigt:

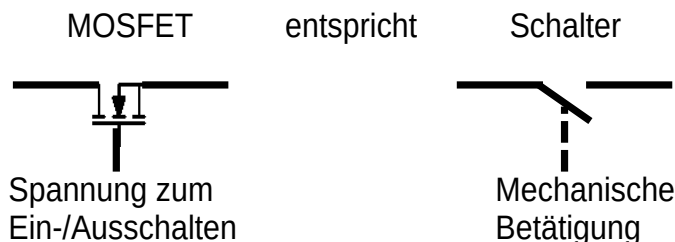
- EN schaltet den Motor ein und aus.
- STEP benötigt für jeden Motorschritt einen elektrischen Impuls.
- DIR ändert die Drehrichtung.



In unserem Roboter-System erfolgt die Ansteuerung der Motortreiber über einen eigenen Microcontroller von Typ ESP32-S3.

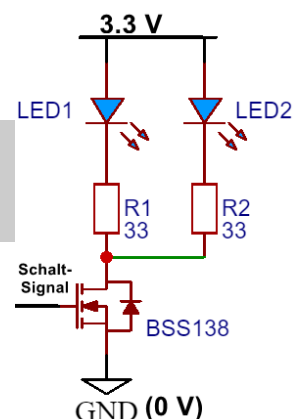
## MOSFET

MOSFET's (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistors) findet man haufenweise in Computerbausteinen. Hier wird er zusätzlich als elektronischer Schalter eingesetzt, der mit einem digitalen Ausgang des Arduinos ein- und ausgeschaltet werden kann.



Dieser Transistor mit drei Anschlüssen wird gebraucht, wenn eine LED oder ein Motor angesteuert werden soll, der mehr Strom als 7 mA braucht. Auch im oben beschriebenen Motortreiber A4988 sind solche MOSFET's verbaut, die bis zu 2 A Motorstrom liefern.

Der im Farbsensor A und Liniensensor verbaute Typ BSS138 könnte bis zu etwa 300 mA schalten. Die Anordnung zum Schalten der beiden LEDs im Farbsensor sieht so aus:

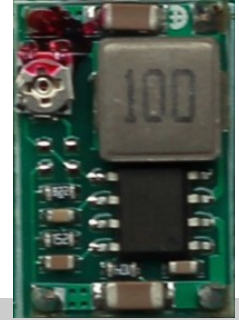


## Spannungswandler

Um aus der Akkuspannung von etwa 12 V eine kleinere Spannung für den Arduino und die Sensoren zu gewinnen, wird ein Spannungswandler benötigt. So genannte Step Down Wandler erzeugen eine kleinere Spannung, die häufig über ein Potentiometer einstellbar ist.

Im Arduino-Aufsatz (Shield) sind zwei Wandler vorhanden:

- 3,3 V für den Arduino, die Sensoren und sonstige Digitalelektronik
- 5,5 V für Servo-Motoren



Solche Step-Down-Wandler werden auch bei größeren Strömen kaum warm und der am Eingang fließende Strom ist kleiner als der Ausgangsstrom.

Am 3,3V-Wandler fließt am Eingang nur etwa ein Drittel des Ausgangsstroms.

Am 5,5V-Wandler fließt am Eingang nur etwa die Hälfte des Ausgangsstroms.

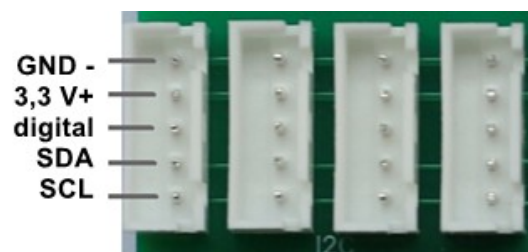
Hinzu kommt allerdings noch ein Grundstrom von ca. 10 mA, auch wenn kein Ausgangsstrom fließt.

## I2C-Bus

Ein Bus ist eine Kabel-Verbindung (Schnittstelle), um digitale Daten zu übertragen. Du kennst sicherlich vom Computer die USB-Anschlüsse (USB steht für Universeller Serieller Bus).

Verbreitet in der Aduino-Welt ist der so genannte I2C (I Quadrat C) Bus. Viele der verwendeten Sensoren besitzen schon eine I2C Schnittstelle, ebenso der Arduino Zero. Die Anwendung ist deshalb sehr einfach, weil an zwei Leitungen (SCL und SDA) mehrere Module parallel betrieben werden können. Die Kontrolle der Signale (Master) erfolgt über den Arduino. Die verschiedenen angeschlossenen Bus-Teilnehmer werden per Software über I2C-Adressen unterschieden.

Am Arduino-Shield sind vier Buchsen (parallel geschaltet) für I2C vorhanden – mit zusätzlicher 3,3V-Spannungsversorgung und einem weiteren Digitalanschluss:



Das Display oder die Farbsensoren werden z.B. an den I2C-Bus angeschlossen.

Die Kommunikation zwischen den Arduino und den Motortreibern geschieht auch über den I2C-Bus. Dazu ist ein Microcontroller vom Typ ESP32-S3 zwischengeschaltet, der die I2C-Befehle verarbeitet.