

TURN ON YOUR CREATIVITY

FRANZIS
MAKER KIT
PHYSICAL
COMPUTING

HANDBUCH

FRANZIS

Franzis Maker Kit
Physical Computing

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.

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.



Arduino™ ist ein eingetragenes Markenzeichen der Arduino S.r.l.

Produktmanagement: Dr. Markus Stäuble

Autor: Dr. Günter Spanner

Art & Design: www.ideehoch2.de

Satz: DTP-Satz A. Kugge, München

© 2015 Franzis Verlag GmbH, Richard-Reitzner-Allee 2, 85540 Haar

Alle Rechte vorbehalten, auch die der fotomechanischen Wiedergabe und der Speicherung in elektronischen Medien. Das Erstellen und Verbreiten von Kopien auf Papier, auf Datenträgern oder im Internet, insbesondere als PDF, ist nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Verlags gestattet und wird widrigenfalls strafrechtlich verfolgt.

Die meisten Produktbezeichnungen von Hard- und Software sowie Firmennamen und Firmenlogos, die in diesem Werk genannt werden, sind in der Regel gleichzeitig auch eingetragene Warenzeichen und sollten als solche betrachtet werden. Der Verlag folgt bei den Produktbezeichnungen im Wesentlichen den Schreibweisen der Hersteller.

Inhalt

Einführung	6
1 Programmierung des Arduino MICRO	18
2 Elemente und Komponenten des Lernpakets	32
3 Grundlagen der Sensortechnik	50
4 Warm oder kalt? – Temperaturmessung	66
5 Elektronisches Sehen und optische Sensoren	84
6 Mechanische Sensoren	96
7 Erfassung unsichtbarer Kräfte mit Magnetsensoren	102
8 Aktoren steuern die Welt	108
9 Projekte für Profis	132
10 ANHANG	148

Alle Skripte/Quelltexte finden Sie zum Download auf
www.buch.cd.

EINFÜHRUNG

Das weite und hochmoderne Gebiet des »Physical Computing« beschäftigt sich mit Anwendungen der Informationstechnologie (IT, »computing«), um damit auf die – physikalisch-technische – Umwelt (»physical«) einzuwirken.

Dieser Teilbereich der Technik hat in den letzten Jahren einen enormen Aufschwung erfahren. Jedes moderne Smartphone, jeder Tabletcomputer enthält heute eine Vielzahl von Sensoren. Damit werden die Lage der Geräte im Raum und die aktuelle Umgebungshelligkeit erfasst, um das Display optimal auszurichten und zu beleuchten. Satellitenempfänger und Kompasssensoren ermöglichen das problemlose Navigieren im Großstadtdschungel.

Andererseits können Rollläden oder Heizkörper von jedem Punkt der Welt aus ferngesteuert werden, um das optimale Raumklima zu schaffen, lange bevor man ein Gebäude betritt. Ermöglicht wird dies durch Aktoren wie Stellmotoren oder Servoantriebe.

Wer diese Dinge verstehen, erweitern oder sogar selbst entwerfen und aufbauen will, muss sich mit »Physical Computing« befassen. Nur dann ist man in der Lage, hochtechnisierte Anwendungen wie

- alle Arten interaktiver Systeme, vom Bankautomaten bis hin zu Auskunftssystemen der öffentlichen Verkehrsmittel
- stationäre und mobile Geräte, von der sensorgesteuerten Rollladenautomatik bis hin zu mit Sensoren vollgepackten Navigationsgeräten
- autonome Roboter und fahrerlose Kraftfahrzeuge

- »Smart Environments« wie intelligente Haushaltsgeräte, u. a. den bekannten Kühlschrank, der im Bedarfsfall via E-Mail eine Bestellung zum nächsten Lebensmittelhändler sendet

zu verstehen und zu durchschauen.

Daneben wird der Begriff »Physical Computing« häufig auch für Projekte mit einem künstlerischen oder designtechnischen Hintergrund und für sogenannte »Do-it-yourself-Hobbyprojekte« verwendet. Dabei werden Sensoren und Mikrocontroller eingesetzt, um analoge Eingaben für Software-Anwendungen verfügbar zu machen und elektromechanische Geräte wie Motoren, Servos, Leuchtdioden oder andere Hardware zu steuern.

Physical Computing integriert verschiedene Teilgebiete wie eingebettete Systeme, mobile Geräte, Sensortechnologie, Robotik etc. und zeichnet sich durch kreatives Erschaffen neuartiger, bisher völlig unbekannter Anwendungen aus. Dies erfordert eine Erweiterung von Kenntnissen und Arbeitsmethoden der Informatik, der Mechanik und Robotik bis hin zur künstlichen Intelligenz.

Die einfache Verfügbarkeit moderner Mikrocontrollertechnik in Form von Arduino-Boards und Modellbauservos hat diesem jungen Teilgebiet der Technik auch im Hobbybereich zu einem ungeahnten Durchbruch verholfen. Wer sich in der modernen Welt der vernetzten Systeme nicht verlieren will, muss sich mit diesen neuen technologischen Errungenschaften auseinandersetzen!

Ziel dieses Lernpakets ist es daher, einen Überblick über die Möglichkeiten und Herausforderungen von Anwendungen im Bereich Physical Computing zu vermitteln. Dabei werden drei Schwerpunkte gesetzt:

- das Kennenlernen von »Embedded Systems« anhand des universell einsetzbaren Controllerboards Arduino MICRO
- die Einführung in das Gebiet der Elektronik und der modernen Sensortechnik

- Anwendung von Aktoren wie den beiliegenden Servos, welche mithilfe einfacher, selbstgebauter mechanischer Systeme Einfluss auf ihre Umgebung nehmen

In der klassischen Informationstechnologie besteht ein Computersystem aus einer zentralen Recheneinheit, einem Bildschirm und einer Tastatur. In der modernen Welt des Physical Computing wird diese Grundausstattung um eine nahezu unbegrenzte Vielfalt an zusätzlichen Ein- und Ausgabegeräten erweitert. Ein Eingabegerät kann dabei lediglich aus einem einfachen Taster, einem Türkontaktschalter oder einem Potentiometer bestehen, aber auch magnetische Annäherungssensoren oder optische und thermische Detektoren können Daten über die nähere oder weitere Umwelt des Systems liefern.

Die Datenausgabe erfolgt im einfachsten Fall über simple Leuchtdioden (LEDs). Daneben kommen aber auch piezoelektrische Schallwandler oder Servomotoren zum Einsatz. Diese steuern über kleine, meist selbstgefertigte mechanische Einheiten Zeiger, kleine Kräne und Roboterarme.

Um Physical-Computing-Systeme zu entwickeln und anzuwenden, sind also Kenntnisse und Fähigkeiten aus verschiedenen Fachgebieten erforderlich. Neben einem soliden Grundwissen im Bereich der Informationstechnologie, Informatik und Programmierung sind auch Kenntnisse aus den Bereichen Elektronik und Mechatronik erforderlich. Insbesondere beim Einsatz der Aktoren wie Servos oder anderen Stellelementen ist auch ein gewisses Geschick im Umgang mit mechanischen Komponenten von Vorteil. Das Lernpaket »Physical Computing« deckt dabei alle Themengebiete ab. Neben einer Einführung in die Sprache C und in die grundlegenden Voraussetzungen für die Programmierung des Arduino MICRO werden auch die elektronischen Grundlagen der verwendeten Sensoren erläutert.

Die Anwendung von mechanischen Stellelementen wie etwa den beiliegenden Servomotoren rundet das umfangreiche Spektrum des Physical Computing ab. Neben dem eigentlichen Lerneffekt kommt dabei auch der spielerische Umgang mit mechanischen Steuerungen nicht zu kurz.

Dieses Lernpaket wendet sich nicht an den absoluten Einsteiger. Es sollten bereits Grundkenntnisse im Umgang mit elektronischen Bauelementen, sowie in der Anwendung und Programmierung des Arduinos vorhanden sein. Ein grundlegender Neueinstieg in diese Gebiete würde den Rahmen dieses Pakets sprengen. Im Bedarfsfall können alle erforderlichen Grundkenntnisse in den in Abschnitt 10.2 genannten Lernpaketen und Kursen erworben werden.

*Wichtiger
Hinweis*

Arduino MICRO – ein Controllersystem in IC-Größe

Der weltweite Siegeszug des Systems Arduino ist bislang einmalig. Neben seiner raschen Verbreitung in ganz Europa konnte das Board bald auch große Erfolge in den USA vermelden. Dort werden vor allem auch Hardwareerweiterungen in allen Variationen entwickelt und vertrieben. So haben beispielsweise US-Firmen wie SparkFun oder Seeedstudio die verschiedensten Zusatzboards, sogenannte »Shields« im Programm. Das Wachstum der Arduino-Familie ist weiterhin ungebrochen. Die Entstehung immer neuer Boardvarianten scheint sich sogar noch zu beschleunigen.

Der Arduino-Stammbaum hat seinen Anfang im Jahr 2005 mit dem Ur-Arduino mit einem ATmega8-Controller und einer seriellen Schnittstelle. Wurde zunächst nur diese eine Version immer weiterentwickelt und mit dem Arduino NG, dem Duemilanove bis hin zum UNO (s. Abb. 0.1) mit immer leistungsfähigeren Prozessoren und neuen Schnittstellen versehen, so kamen im Jahr 2010 die ersten eigenständigen Äste hinzu.

Arduino Nano, Mega (s. Abb. 0.2) und das Lilypad wurden am Markt eingeführt. Schließlich kamen 2012 noch der Leonardo und der Arduino Due hinzu. In diesem Jahr wurde auch der Arduino MICRO vorgestellt. In vielerlei Hinsicht hat dieser Baustein das Spielzeug-Image der anderen Boards abgelöst. Er hat einen modernen Controller an Board, welcher direkt über USB kommunizieren kann. Die relativ teuren RS232-zu-USB-Umsetzer können damit entfallen, was sich auch im Preis des MICRO positiv niederschlägt.



Abb. 0.1: Arduino UNO in der klassischen Bauform

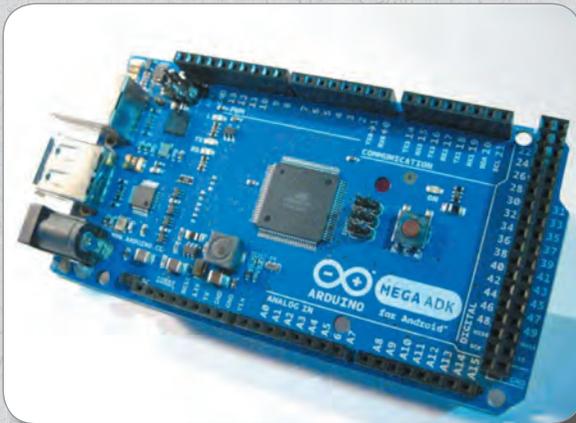


Abb. 0.2: Der Arduino Mega mit dem leistungsfähigen 2560-Prozessor

Darüber hinaus ist dieser Baustein für den Einsatz auf lötfreien Aufbausystemen bestens geeignet. Durch zwei parallele Pinreihen kann der MICRO direkt in ein Breadboard eingesteckt werden. Spezielle und meist auch entsprechend hochpreisige Prototyping-Shields sind somit nicht erforderlich.

Die folgende Abbildung zeigt den MICRO im Vergleich zu einem klassischen IC und verdeutlicht so seine äußerst kompakte Bauform.

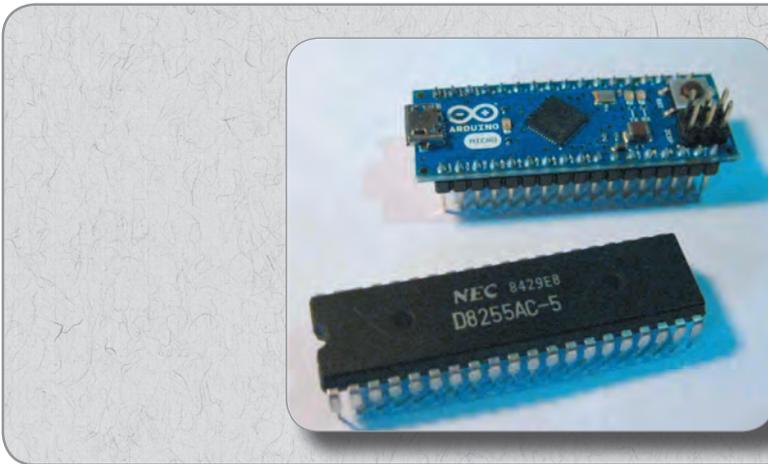


Abb. 0.3: Arduino MICRO im Vergleich mit einem klassischen IC

Der Arduino MICRO auf einen Blick

Die technischen Daten des MICRO sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Mikrocontrollertyp	ATmega32u4
Versorgungsspannung	5 V
Eingangsspannungsbereich (empfohlen)	7-12 V
Maximaler Eingangsspannungsbereich	6-20 V
Digital-I/O-Pins	20

PWM-Kanäle	7
Analogeingänge	12
Max. Strombelastung pro Pin	40 mA
Max. Strombelastung des 3,3-V-Ausgangs	50 mA
Flash-Speicher	32 kB
davon 4 kB für den Bootloader	
SRAM	2,5 kB
EEPROM	1 kB
Prozessorgeschwindigkeit	16 MHz

Weitere Einzelheiten dazu werden in späteren Kapiteln näher erläutert. Abb. 0.4 zeigt die Zuordnung der Anschlusspins der Leiterplatte zu den Controller-Pins. Die Pins und ihre Funktionen werden in den folgenden Kapiteln detailliert beschrieben.

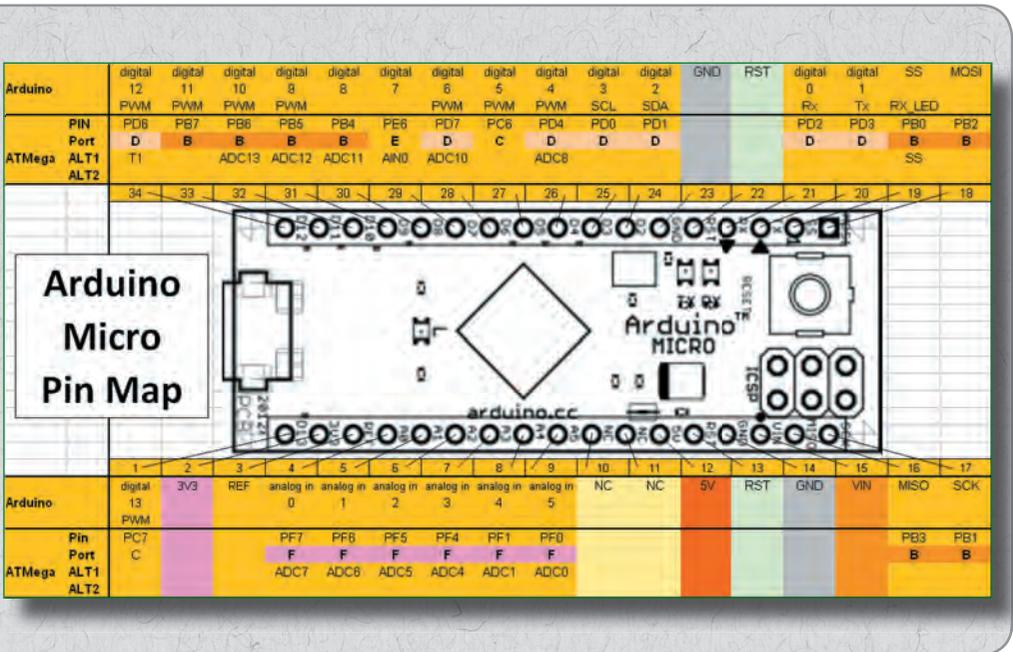


Abb. 0.4: Pin-Zuordnung beim Arduino MICRO

Elektronische Aufbausysteme

Will man eigene Schaltungen und Projekte entwickeln und testen, so ist das Anfertigen von professionellen Leiterplatten mit erheblichem Aufwand verbunden. Nach dem Entwurf und dem Layout der Platine muss diese chemisch geätzt werden, dann erst kann das Einlöten der Bauteile erfolgen. Soll die Schaltung nachträglich geändert oder verbessert werden, so ist das nur mit erheblichem Aufwand und meist auch nur mit großen Einschränkungen möglich.

Wesentlich einfacher ist der Einsatz von sogenannten lötfreien Steckplatinen. Diese werden oft auch unter dem Namen »Breadboards« vertrieben. Der Name rührt daher, dass in den Anfangszeiten tatsächlich elektronische Prototypen auf hölzernen Brotbrettern aufgebaut wurden, die mit Lötnägeln bestückt waren. Die in früheren Zeiten oftmals noch recht voluminösen Komponenten wurden dann über diese Lötnägel miteinander verbunden.

Breadboards waren auch in den Entwicklungsabteilungen der Elektronikindustrie weit verbreitet. Es war durchaus üblich, auch kommerzielle Schaltungen oder Schaltungsteile zunächst auf einem Breadboard auszutesten. Leistungsfähige Simulationswerkzeuge sorgten aber dafür, dass der Einsatz der Breadboards deutlich zurückging. Neue Schaltungsideen werden nun hauptsächlich virtuell am Rechner überprüft, reale Aufbauten, egal ob als Breadboardversion oder als Leiterplattenprototyp, bilden nun eher eine seltene Ausnahme. In der Elektronikausbildung und an den Hochschulen sind Breadboardschaltungen aber immer noch häufig anzutreffen. Auch im Hobbybereich haben die Breadboards eine Renaissance erfahren. Durch die Massenproduktion in Fernost wurden sie sehr preiswert, sodass hier in den letzten Jahren der Einsatz wieder deutlich zugenommen hat.

Im Umfeld der Arduino-Gemeinde haben sich lötfreie Steckbretter hervorragend bewährt. Waren sie bei den klassischen Arduino-Versionen noch recht umständlich über Drähte mit den Buchsenleisten der Boards zu verbinden, so kann man nun den Arduino MICRO in geradezu idealer Weise in ein Breadboard einsetzen. Wackelkontakte, wie sie früher bei den umständlichen Drahtbrückenverbindungen häufig auftraten, gehören nun der Vergangenheit an.

Oft hört man das Argument, dass eine Breadboardschaltung über längere Zeit hinweg nicht zuverlässig funktioniert. Die Praxis aber beweist das Gegenteil. Wenn man beim Aufbau sorgfältig vorgeht, so kann man auch eine Breadboardschaltung problemlos im Dauereinsatz betreiben. Im Abschnitt 10.3 dieses Anleitungsbuchs werden dazu einige Tipps und Ratschläge für erfolgreiche Breadboardaufbauten gegeben.

Natürlich gibt es Situationen, in denen eine Breadboardschaltung nicht zu empfehlen ist: in Fahrzeugen beispielsweise oder in anderen Umgebungen, in denen mit stärkeren Vibrationen zu rechnen ist. Bei hoher Luftfeuchtigkeit oder großen Temperaturschwankungen wird ein Breadboardaufbau ebenfalls keine hohe Zuverlässigkeit erreichen, da die Kontaktfedern in diesem Falle leicht korrodieren.

In normalen Wohnräumen dagegen spricht nichts gegen den Dauereinsatz. Wenn die Schaltung in ein Gehäuse eingebaut wird und so vor Staub und mechanischen Einflüssen geschützt ist, kann sie über Jahre hinweg zuverlässig arbeiten.

Im letzten Kapitel des Buchs wird darauf eingegangen, wie man eine fertig entwickelte Schaltung auch für die oben genannten ungünstigen Umgebungsbedingungen dauerhaft auf eine Lochrasterplatine aufbauen kann. Der letzte Schritt wäre dann die Entwicklung einer geätzten Leiterplatte. Dieser Schritt lohnt sich allerdings meist nur, wenn bereits eine Kleinserie gefertigt werden soll. Bei Einzelstückzahlen ist es so gut wie immer günstiger, wenn man beim Lochrasteraufbau bleibt.

Experimentierboards gibt es in den unterschiedlichsten Ausführungen, Formen und Farben. Meist weisen sie ein Hauptsteckfeld auf, welches aus zwei Reihen mit Metallfedern besteht. Die Metallfedern haben jeweils fünf Öffnungen, die zur Aufnahme von Bauteildrähten dienen. Bauteileanschlüsse, die in eines dieser fünf Aufnahmelöcher gesteckt werden, sind leitend miteinander verbunden. Daneben verfügen viele Boards noch über zwei sogenannte Busschienen. Hier gibt es mehrere Varianten: Entweder sind die Schienen über die gesamte Länge des Steckboards miteinander verbunden oder sie sind in zwei elektrisch getrennte Teilschienen aufgetrennt.

Kleinere Experimentierboards verfügen oft nur über jeweils eine einzelne Schiene pro Boardseite. Bei größeren Steckboards ist häufig eine Doppelschiene an jeder Seite vorhanden. Oft können die Schienen auch vom Board abgetrennt werden. Meist dienen die Busschienen der Stromversorgung. Im Bedarfsfall können sie aber auch zur Signalführung verwendet werden. Abb. 0.5 zeigt zwei verschiedene Breadboardtypen. Dem Lernpaket liegt die weiße Variante bei. Sie trägt die Typbezeichnung SYB-46.



Abb. 0.5: Breadboards in verschiedenen Ausführungen

Breadboardbetrieb des Arduino MICRO

Wie bereits erwähnt, ist der Arduino MICRO ideal für den Betrieb in einem Breadboard geeignet. Allerdings sollte man einige Vorichtsmaßnahmen berücksichtigen, wenn man dauerhaft erfolgreich mit dem MICRO arbeiten will.

Insbesondere wenn die Steckplatinen noch neu sind, kann das Einstecken der Anschlusspins einigen Kraftaufwand erfordern. In diesem Fall kann man die Buchsen des Breadboards mit einer Stecknadel etwas aufweiten. Allerdings sollte man das auch nicht über-

treiben, da es sonst wiederum zu Wackelkontakten kommen kann. Beim Einsetzen eines Arduino MICROS in ein neues Breadboard kann ein recht erheblicher Kraftaufwand notwendig sein. Hier sollte man behutsam vorgehen, da es bei Anwendung zu großer Kräfte leicht zu Beschädigungen am Board kommen kann. So entstehen unter Umständen Haarrisse, die im Laufe der Zeit zu Kontaktproblemen an den Pins führen können.

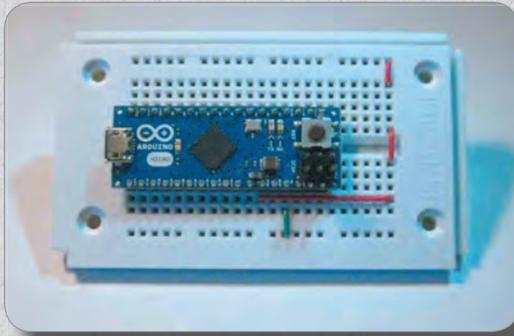


Abb. 0.6: Arduino MICRO in einem Breadboard

Auch beim Entfernen der Arduino-Platine aus einem Breadboard ist Vorsicht geboten. Unsachgemäßes Vorgehen kann auch hier wieder zu Schäden am Arduino führen. Am besten geht man so vor, wie in Abb. 0.7 gezeigt. Mit einem kleinen Schraubenzieher hebt man den Arduino zunächst an einer Seite leicht an. Dann zieht man auf der anderen Seite nach. Wenn die Anschlusspins weit genug aus den Öffnungen des Breadboards herausgezogen sind, kann man schließlich den MICRO ohne großen Kraftaufwand vollständig aus dem Breadboard ziehen. Auch sollte man sich von Anfang an daran gewöhnen, Schaltungen übersichtlich und sauber aufzubauen. Das hat verschiedene Vorteile. Zunächst kann man bei einer sauber aufgebauten Schaltung wesentlich leichter den Überblick behalten. Wenn man insbesondere bei größeren Projekten einzelne Schaltungsgruppen zusammenfasst und gemäß ihrer Funktionalität auf dem Breadboard anordnet, so bleiben auch komplexe Aufbauten leicht überschaubar. Wie die Erfahrung zeigt, werden Schaltungen im Laufe der Zeit häufig

geändert und erweitert. Wenn man aber damit beginnt, Bauelemente beliebig auf dem Breadboard zu verteilen, so werden immer längere Verbindungsdrähte nötig und es bleibt bereits nach kürzester Zeit kein Raum mehr für Erweiterungen und Ergänzungen.

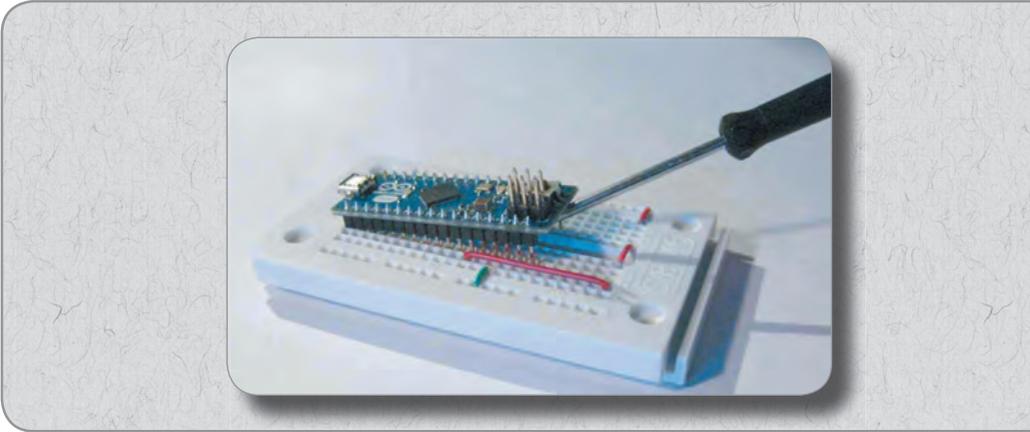


Abb. 0.7: Entfernen des Arduino MICRO aus einem Breadboard

Im Internet finden sich haufenweise Abbildungen von Breadboardschaltungen, die an Unübersichtlichkeit nicht mehr zu überbieten sind. Immerhin können diese Aufbauten aber noch als negative Beispiele dienen ...

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Fehlersuche. Auch bei den besten Entwicklern funktionieren Schaltungsaufbauten meist nicht auf Anhieb. Bei einem klar strukturierten Aufbau können aber Fehler weit einfacher lokalisiert werden. Eine Fehlersuche in einem unübersichtlichen Aufbau ist praktisch aussichtslos! Leider ist das Internet voll mit »Vorbildern«, auf welchen Leitungen und Bauelemente zufällig verstreut angeordnet sind, und der Versuch, eine solche Schaltung nachzubauen, ist in der Regel zum Scheitern verurteilt. Ein gut durchdachter Aufbau hat schließlich auch noch rein technische Vorteile. Kurze Leitungen sind wesentlich weniger empfindlich gegen Störeinstrahlungen, und das Übersprechen von benachbarten Leitungen ist geringer. Insbesondere wenn es um das Auslesen von Sensormesswerten oder die Erfassung von kleinen Spannungen etc. geht, ist dies ein nicht zu unterschätzender Vorteil.

2

ELEMENTE UND KOMPONENTEN DES LERNPAKETS

Bevor mit den Experimenten begonnen wird, sollte man sich mit den einzelnen Bauelementen des Lernpakets vertraut machen und diese kennenlernen und prüfen. Die in diesem Abschnitt vorgestellten Testschaltungen können auch später verwendet werden, um einzelne Komponenten zu testen, falls Unklarheit über ihre Funktionsfähigkeit bestehen sollte. Hier sollen nur kurz die wichtigsten Funktionen und Eigenschaften der einzelnen Standardbauelemente beschrieben werden. Bei Bedarf können weitere Details dazu in der einschlägigen Literatur zum Thema Elektronik nachgelesen werden (s. Literaturverzeichnis im Anhang).

2.1 | Drahtbrücken

Zur Verbindung der Bauelemente sind sogenannte Drahtbrücken erforderlich. Dafür schneidet man vom beiliegenden Schaltdraht Stücke entsprechender Länge ab. Danach sind die Enden von der Isolation zu befreien. Dazu kann man ein scharfes Messer benutzen. Man rollt das Drahtstück unter der Messerklinge bis die Isolation, nicht aber der Draht, durchtrennt ist. Danach kann man die Isolation einfach abziehen.

Drahtbrücken werden im Schaltbild als einfache Linien dargestellt. Wichtig ist, zu beachten, dass sich kreuzende Linien nur elektrisch verbunden sind, wenn sie mit einem zusätzlichen Punkt markiert sind (Abb. 2.1).

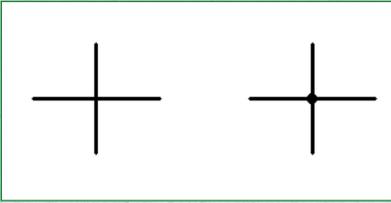


Abb. 2.1: Beispiele für Leitungskreuzungen

2.2 | Widerstände

Widerstände sind die einfachsten Bauelemente der Elektronik. Sie sind ungepolt und recht robust. Die Widerstandswerte werden durch Farbringe kodiert. Für Widerstände mit 5 % Toleranz werden dafür vier Farbringe verwendet. Drei geben den Widerstandswert an, der vierte ist goldfarben, für eine Toleranz von 5 %. Für Exemplare mit 1 % Toleranz sind fünf Farbringe erforderlich, hier gibt der braune fünfte Ring die Toleranz von 1 % an.

Den Ring für die Toleranzangabe erkennt man hierbei daran, dass er etwas breiter ist als die anderen. Diesem Lernpaket liegen folgende 12 Widerstandswerte (entweder jeweils mit 5 % oder mit 1 % Toleranz) bei:

Anzahl	Wert	Farbringkombination für 5 % Toleranz	Farbringkombination für 1 % Toleranz
6	1 Kiloohm	braun-schwarz-rot	braun-schwarz-schwarz-braun
2	10 Kiloohm	braun-schwarz-orange	braun-schwarz-schwarz-rot
2	100 Kiloohm	braun-schwarz-gelb	braun-schwarz-schwarz-orange
1	1 Megaohm	braun-schwarz-grün	braun-schwarz-schwarz-gelb
1	10 Megaohm	braun-schwarz-blau	braun-schwarz-schwarz-grün

Die Schaltbilder eines Widerstandes sind in der folgenden Abbildung zu sehen.

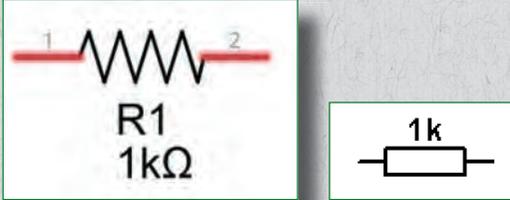


Abb. 2.2: Schaltbild eines Widerstandes (links international, rechts europäisch)

Ursprünglich war die in der Abbildung links dargestellte Version hauptsächlich im US-amerikanischen Raum verbreitet. In letzter Zeit setzt sich die Darstellung mit der Zickzacklinie aber auch immer mehr international durch, sie wird deshalb auch in diesem Anleitungsbuch verwendet.

Abb. 2.3 zeigt die physikalische Ausführung verschiedener Widerstände.



Abb. 2.3: Widerstände

Es empfiehlt sich, die Anschlussdrähte der Widerstände mit einem Seitenschneider etwas zu kürzen. Dann sollte man sie so biegen wie in Abb. 2.3 gezeigt. Das heißt, die Drähte werden so umgebogen, dass beim Einstecken drei Löcher unter dem Widerstand frei bleiben. Bei Bedarf können die Drahtenden etwas zusammen oder auseinander gebogen werden, sodass nur zwei oder aber vier Löcher unter dem Widerstand frei bleiben. Zu stark oder zu oft sollte man die Drähte aber nicht biegen, da sie sonst eventuell brechen könnten. Die folgende Abbildung zeigt, wie ein $1\text{-k}\Omega$ -Widerstand in einem Breadboardaufbau dargestellt wird.

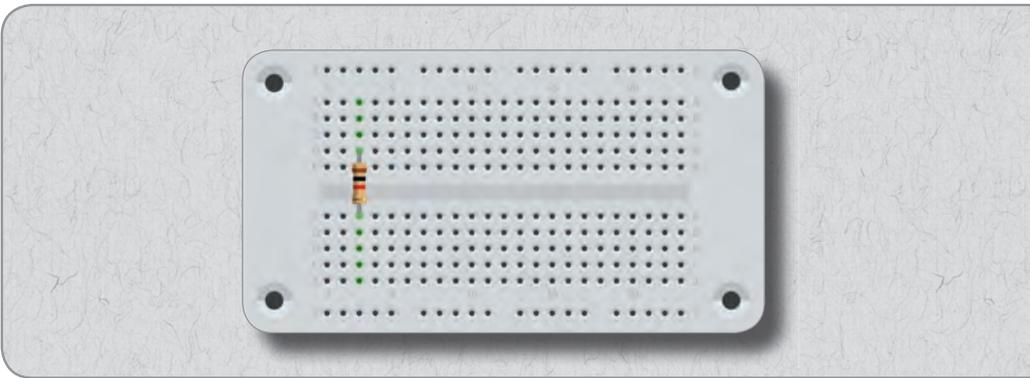


Abb. 2.4: Widerstand in einem Breadboard

2.3 | LEDs

Zum Thema LEDs ist zuallererst ein wichtiger Hinweis angebracht, dessen Nichtbeachtung leider immer wieder zur unbeabsichtigten Zerstörung von LEDs führt:

Lichtemittierende Dioden (LEDs oder Leuchtdioden) dürfen niemals direkt an eine Spannungsquelle angeschlossen werden.

Beim Anschluss an 5 V ist immer mindestens ein Widerstand von $220\ \Omega$ vorzuschalten, damit der Diodenstrom auf einen zulässigen Wert begrenzt wird!

Wichtig

Die Kathode der LED ist durch eine Abflachung am Kunststoffgehäuse gekennzeichnet. Außerdem ist meist der Anschlussdraht

für die Kathode etwas kürzer. Beide Merkmale sind allerdings nicht immer sehr zuverlässig oder eindeutig. Falls eine Schaltung nicht korrekt funktioniert, ist es daher immer eine gute Idee, die Polung der LEDs zu prüfen.

Bitte beachten

Bei den kleinen LEDs im 3-mm-Gehäuse sollte man die Anschlussdrähte nicht zu stark verbiegen, da sie mechanisch nicht so belastbar sind wie die der großen 5-mm-LEDs.

Bitte beachten Sie, dass es sich bei der roten LED im 5-mm-Gehäuse um eine sogenannte Blink-LED handelt. Durch einen integrierten Chip blinkt diese Leuchtdiode bereits selbstständig, auch wenn sie an eine feste Gleichspannung angeschlossen wird. Die beiden Bauteile mit den glasklaren Gehäusen werden im nächsten Kapitel als weiße LED bzw. als Fototransistor identifiziert. Die folgenden Abbildungen zeigen Schalt- und Aufbaubilder zu den LEDs.

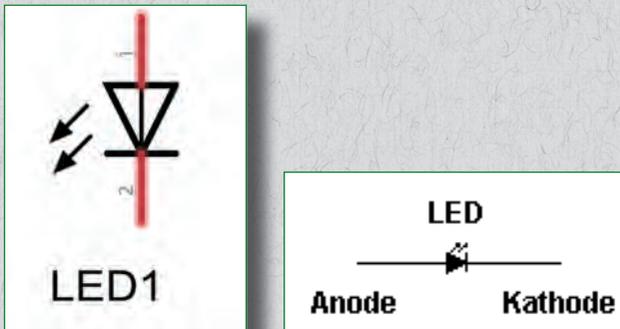


Abb. 2.5: Die Schaltbilder für LEDs



Abb. 2.6: Darstellung einer LED im Aufbaubild

Neben den einfarbigen LEDs liegt dem Lernpaket auch eine sogenannte Multicolor- oder RGB-LED bei. RGB steht hier für Rot-Grün-Blau. Diese LED kann nicht nur diese drei Farben einzeln abstrahlen, sondern durch geeignete Mischung praktisch das gesamte optische Spektrum, einschließlich der Neutralfarbe Weiß, abdecken.



Abb. 2.7: LEDs in verschiedenen Farben

Dieser LED-Typ besitzt vier Anschlussdrähte. Der Längste ist die Kathode. Die anderen drei sind jeweils einer Farbe (rot, grün oder blau) zugeordnet.

2.4 | Der erste Stromkreis

Mit einem Widerstand und einer LED können wir nun unsere erste Schaltung aufbauen. Der positive Pol der Batterie wird über die obere Busschiene mit einem 1-kOhm-Widerstand verbunden. Danach folgt die LED (auf die Polung achten!), die dann über die untere Busschiene mit dem Minuspol der Batterie verbunden wird. Falls alles richtig gesteckt ist, können wir die Batterien in den Halter einlegen. Wenn die Batterien nicht verbraucht sind, leuchtet nun die LED.

Jetzt können nacheinander alle LEDs einschließlich der weißen und der Blink-LED überprüft werden. Auch die Fototransistoren können hierbei als solche erkannt werden: Im Gegensatz zur weißen LED strahlen sie kein Licht aus, egal wie herum sie gepolt sind.



Abb. 2.8:
Die RGB-LED

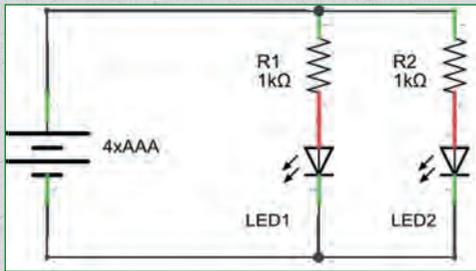


Abb. 2.9: Einfacher Stromkreis mit LEDs

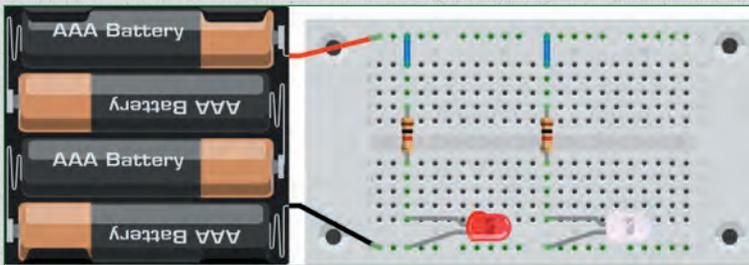


Abb. 2.10: Aufbaubild LED-Stromkreise

2.5 | Kondensatoren

Kondensatoren sind ebenfalls recht robuste Bauelemente. Die einfachen Kondensatoren sind ungepolt. Vorsicht ist aber bei den Elektrolytkondensatoren (»Elkos«) geboten. Hier ist unbedingt auf die richtige Polung zu achten, da sie bei Verpolung zerstört werden können. Die Elkos tragen daher immer eine entsprechende Kennzeichnung.

Im Paket sind Kondensatoren mit folgenden Werten enthalten:

Anzahl	Wert	Beschriftung
2	100 Nanofarad	104 oder 100n
2	100 Mikrofarad, 10V	100 μ oder 100 μ F

Die folgende Abbildung zeigt Kondensatoren in verschiedenen Bauformen.

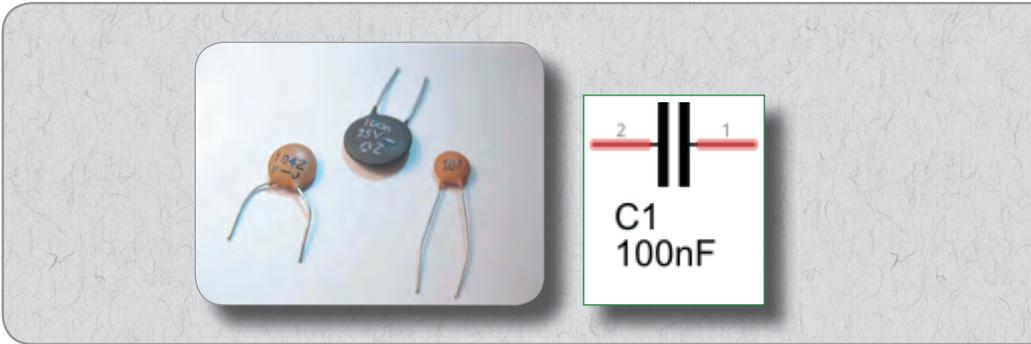


Abb. 2.11: Kondensatoren und ihr Schaltbild

Auch Elkos können in unterschiedlichen Bauformen vorliegen. Abb. 2.12 zeigt einige typische Ausführungen. Der Minusanschluss eines Elkos ist meist entsprechend bezeichnet. Die Kennzeichnung des positiven Pols mit einem Pluszeichen ist dagegen eher selten zu finden.

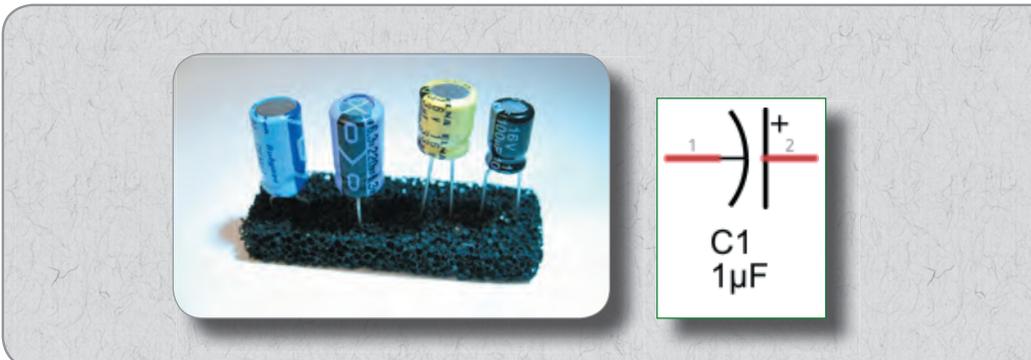


Abb. 2.12: Elkos mit Schaltbild

2.6 | Das Potentiometer

Das Potentiometer (oder kurz »Poti«) ist ein einstellbarer Widerstand. Es besteht aus einer Widerstandsbahn mit zwei Anschlüssen, auf welcher mittels eines Schleifkontaktes verschiedene Widerstände stufenlos eingestellt werden können. Dieser Schleifer darf nicht direkt mit einer Spannungsquelle verbunden werden, da bei Einstellung sehr kleiner Widerstandswerte hohe Ströme fließen könnten, welche die dünne Widerstandsschicht des Potis zerstören würden.

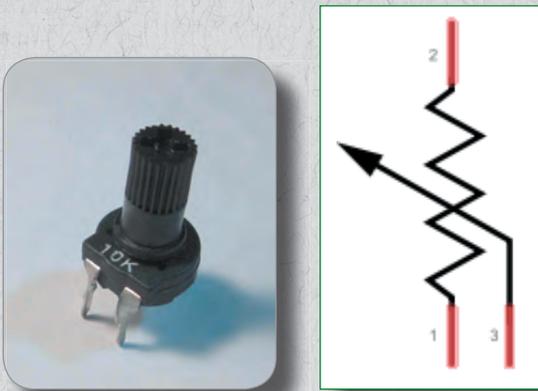


Abb. 2.13: Das Poti und sein Schaltbild

Tip

Wenn man die Anschlussfahnen des Potentiometers mittels einer Flachzange um 90° dreht (s. Abb. 2.13), so lässt es sich wesentlich leichter in das Breadboard einstecken.

2.7 | Der Piezokristall

Der Piezokristall (kurz »Piezo«) dient zum Erzeugen akustischer Signale. Wird eine Wechselspannung oder eine pulsierende Gleichspannung an den Piezo angelegt, so sendet er Schallwellen aus. Darüber hinaus kann ein Piezo auch als empfindlicher mechanischer

Sensor eingesetzt werden. Beide Anwendungsfälle kommen in späteren Kapiteln zum Einsatz.

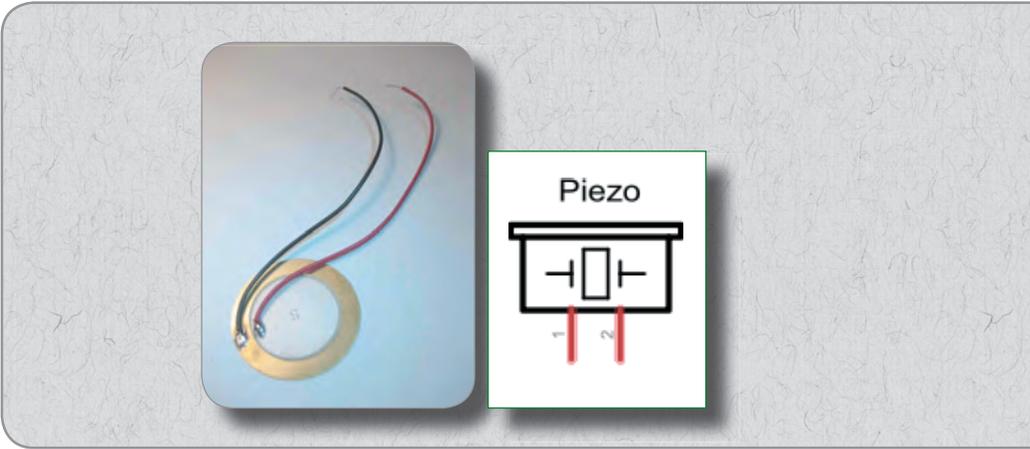


Abb. 2.14: Der Piezo und sein Schaltsymbol

Dünne Anschlussdrähte können beim Einstecken leicht umbiegen! Das Einsetzen der Bauelementdrähte in die Löcher des Steckboards muss immer genau senkrecht erfolgen.

Achtung

Ein Piezokristall kommt im Vergleich zu einem klassischen Lautsprecher mit einer sehr geringen elektrischen Leistung aus. Deshalb kann er auch direkt an einem Ausgangspin des Arduino MICRO betrieben werden. Dafür ist die erreichbare Lautstärke aber auch relativ gering.

Mit Hilfe eines Schallverstärkers kann diese aber deutlich erhöht werden. Ein solcher mechanischer Schallverstärker ist in Abb. 2.15 dargestellt. Er besteht aus einem Stück Pappe, in das zwei Schlitzte geschnitten werden. Der Piezo wird dann einfach in diese beiden Schlitzte gesteckt. Zusätzlich können die Anschlussdrähte noch über ein weiteres Loch geführt werden. Dadurch kann die mechanische Belastung dieser Drähte deutlich reduziert werden.

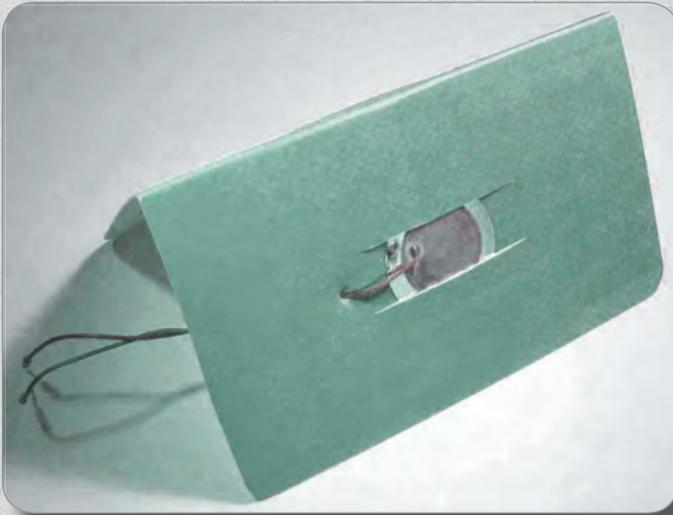


Abb. 2.15: Schallverstärker für den Piezo

2.8 | Der NTC – Ein Temperaturfühler

Im Folgenden soll kurz auf die einzelnen Sensortypen eingegangen werden, welche dem Lernpaket beiliegen. Dabei steht nur eine einfache Beschreibung im Vordergrund, mit der die Bauelemente identifiziert werden können. Eine tiefere Funktionsbeschreibung erfolgt dann jeweils in den Kapiteln, in welchen die einzelnen Sensoren erstmals zum Einsatz kommen.

Für Temperaturmessungen liegt dem Lernpaket ein sogenannter NTC-Temperaturfühler (NTC = Negative Temperature Coefficient) bei. Dieses Bauelement verändert seinen Widerstandswert in Abhängigkeit von seiner Umgebungstemperatur. NTCs sind ungepolte Bauelemente, die aufgrund ihrer vergleichsweise hohen Strombelastbarkeit elektrisch recht robust sind.

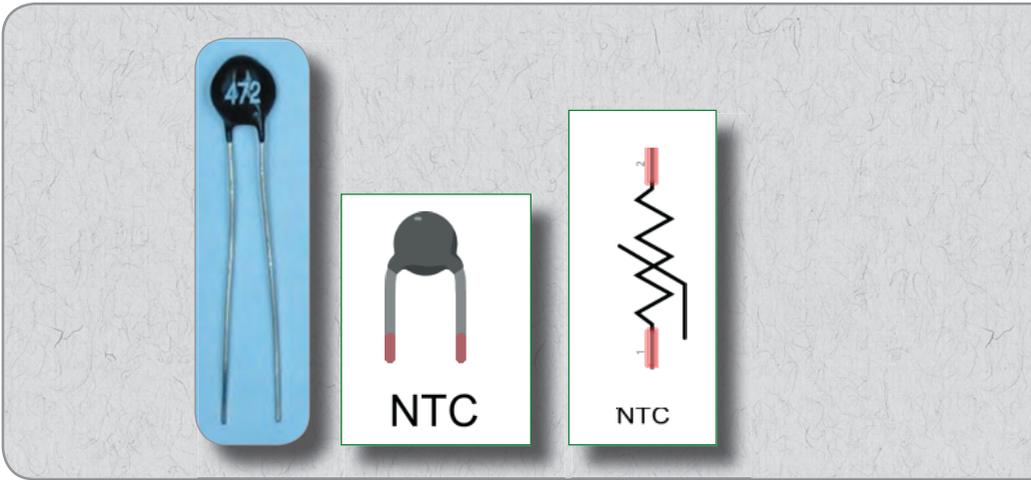


Abb. 2.16: NTC 4K7 mit Aufbau- und Schaltbild

2.9 | Der Fototransistor

Ein weiterer wichtiger Sensor ist der Fototransistor. Fototransistoren gibt es in verschiedenen Ausführungen. Dem Lernpaket liegt ein Typ bei, dessen Gehäuse mit einem 5-mm-LED-Gehäuse identisch ist.

Der Fototransistor darf nicht mit der weißen LED verwechselt werden. Um die beiden Bauelemente zu unterscheiden, kann die Schaltung nach Abb. 2.9 verwendet werden. Im Gegensatz zur weißen LED sendet der Fototransistor unabhängig von der Polung kein Licht aus.

Wie die LED so darf auch der Fototransistor niemals ohne Vorwiderstand verwendet werden!

Achtung

Hinweis

Wenn der Phototransistor einmal eindeutig identifiziert ist, sollte man ihn, beispielsweise durch einen Markierungspunkt, an der Kathodenseite des Gehäuses mit einem Faserstift kennzeichnen.



Abb. 2.17: Der Fototransistor und die zugehörigen Aufbau- und Schaltsymbole

2.10 | Der Hall-Sensor

Dieser Sensor besitzt drei Anschlüsse. Sein Gehäuse ähnelt dem eines Kleinsignaltransistors. Bei genauem Hinsehen erkennt man, dass das Gehäuse an der Vorderseite abgerundete Kanten aufweist. Dies ist wichtig für die korrekte Polung des Sensors. Wenn man das Bauelement genau betrachtet und mit der Abb. 2.18 vergleicht, dann sollte die Identifizierung der Pins kein Problem darstellen.

Falls aber eine Hall-Sensor-Schaltung dennoch nicht funktionieren sollte, ist die Überprüfung der Hall-Sensor-Polung immer eine gute Idee. Der Hall-Sensor reagiert sowohl auf die Stärke als auch auf die Polung eines Magnetfeldes. Je nachdem, ob man sich dem Sensor also mit dem Nord- oder mit dem Südpol des Stabmagneten nähert, steigt oder fällt die Spannung am Ausgang (Pin 3).

Abb. 2.18 zeigt sowohl den Hall-Sensor selbst, als auch den beiliegenden Stabmagneten. Je nach technischer Bauform kann der Stabmagnet eine etwas andere Form oder Größe aufweisen.

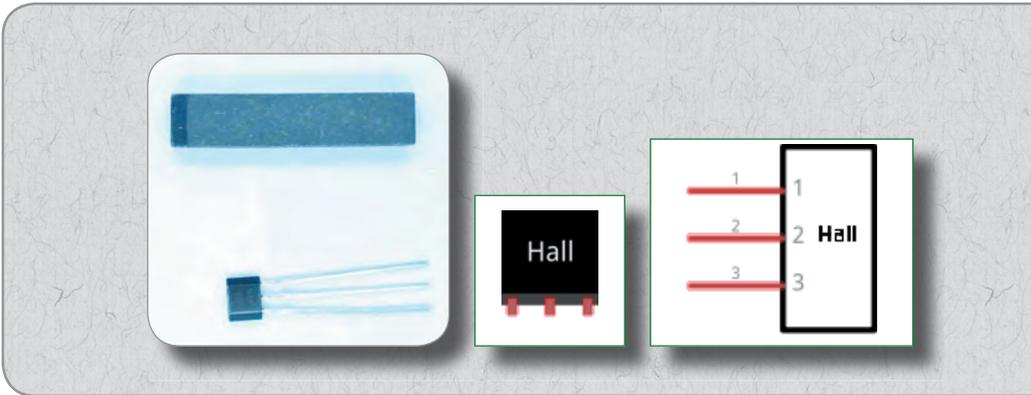


Abb. 2.18: Hall-Sensor und Stabmagnet mit Aufbaubild und Schaltbild

2.11 | Die Batteriebox

Prinzipiell wird der Arduino MICRO über die USB-Schnittstelle mit Strom versorgt. Für die meisten Versuche und Aufbauten ist diese Versorgung auch vollkommen ausreichend. Wenn allerdings Servomotoren verwendet werden, ist eine zusätzliche Stromversorgung angebracht. In diesem Fall kommt die Batteriebox zum Einsatz.

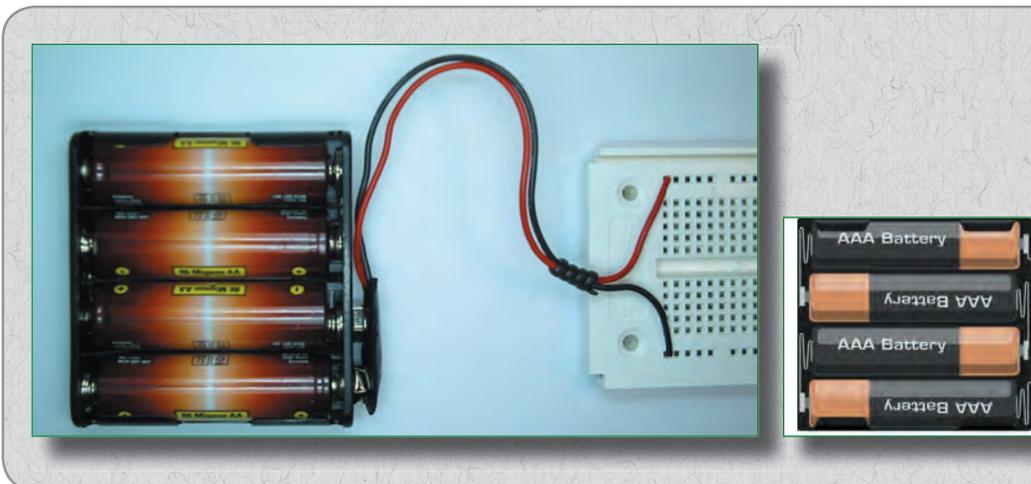


Abb. 2.19: Batteriebox mit Anschlussdrähten und das dazugehörige Aufbaubild

Hinweis

Bitte beachten Sie, dass die Batterien aufgrund ihrer begrenzten Lagerfähigkeit dem Lernpaket nicht beiliegen!

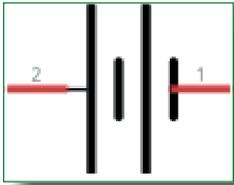


Abb. 2.20: Schaltbild der Batteriebox

2.12 | Tiltensor

Ein auf dem Gebiet des Physical Computing häufig eingesetzter Sensor ist der Tilt- oder Neigungssensor (engl. »to tilt« = kippen oder neigen). Das Prinzip dieses Sensortyps ist in Abb. 2.21 dargestellt. Das staubdicht abgeschlossene Gehäuse des Sensors enthält zwei oder mehr Kontaktstifte und eine leitfähige Metallkugel.

Steht der Sensor aufrecht, so stellt die Metallkugel eine leitende Verbindung zwischen den Kontaktstiften her. Wird der Sensor gekippt, rollt die Kugel im Gehäuse nach unten und der elektrische Kontakt wird unterbrochen.

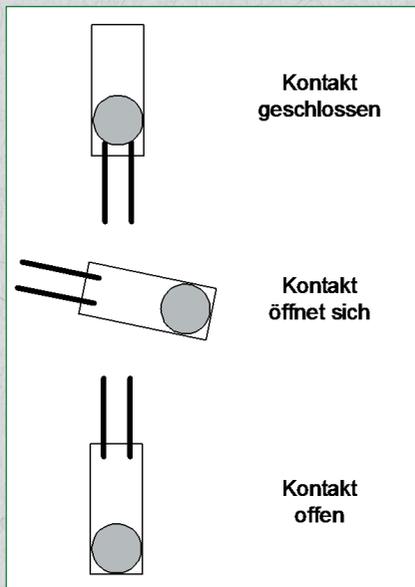


Abb. 2.21: Prinzipieller Aufbau eines Tiltensors

Abb. 2.22 zeigt einen Tiltensor sowie das zugehörige Aufbaubild

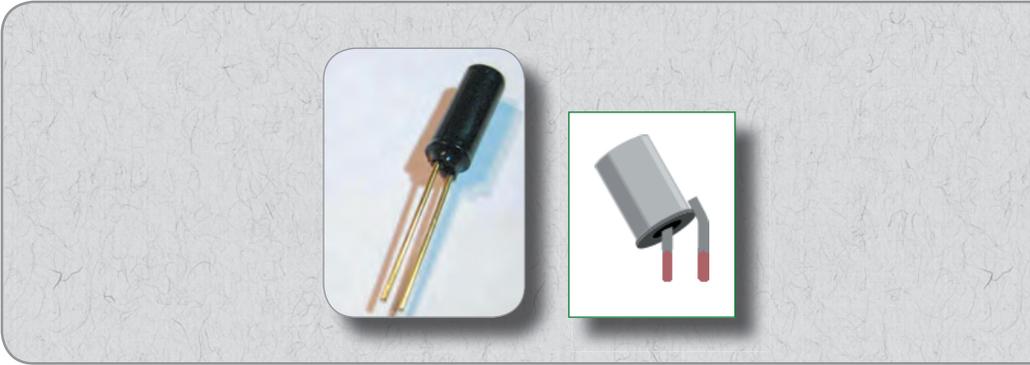


Abb. 2.22: Tiltensor

Tiltensoren sehen Elkos sehr ähnlich. Hier muss die Beschriftung genauestens beachtet werden, um Verwechslungen zu vermeiden.

Hinweis

2.13 | Mikro-Servos

Neben den Sensoren bilden die Aktoren, also physikalische Stellenelemente im weitesten Sinne, das Rückgrat bei Physical-Computing-Anwendungen. Während Sensoren Umweltdaten erfassen und aufnehmen, können Aktoren ihre Umwelt direkt beeinflussen.

Klassische Beispiele für Aktoren sind Schrittmotoren oder lineare Stellelemente. Aber auch Heizwiderstände oder Peltierkühler können in diesem Sinne als Aktoren gelten.

Diesem Lernpaket liegen zwei Modellbauservos bei. Dieser Servotyp zeichnet sich dadurch aus, dass er sehr einfach anzusteuern ist. Darüber hinaus ist er durch Massenfertigung günstig verfügbar und in weiten Anwendungsbereichen einsetzbar.

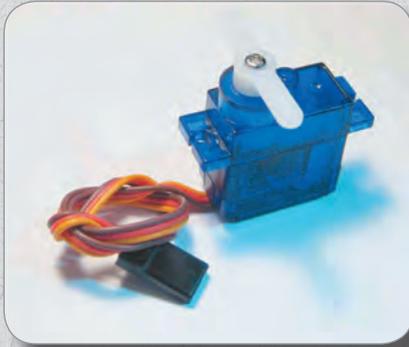


Abb. 2.23: Servo

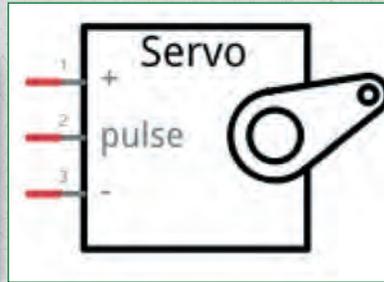


Abb. 2.24: Aufbau- und Schaltbild eines Servos

2.14 | Die Stiftleiste

Sogenannte Stiftleisten dienen zum Verbinden von Steckern und Buchsen. Im Rahmen des Lernpakets dienen sie dazu, die Servo-Anschlusskabel mit dem Breadboard zu verbinden.

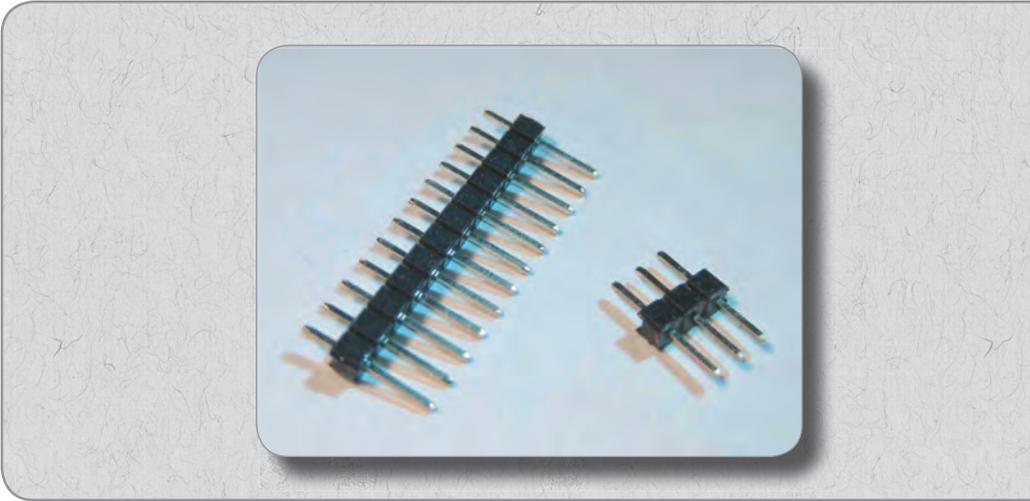


Abb. 2.25: Stiftleisten

Stiftleisten können leicht geteilt werden. Die Kunststoffhalterung weist entsprechende Perforierungen auf. Für die Anwendungen im Rahmen der Lernpaketexperimente sind zwei Leisten mit jeweils drei Stiften erforderlich.

Die folgende Abbildung zeigt, wie eine 3-polige Stiftleiste am Servokabel angebracht wird.

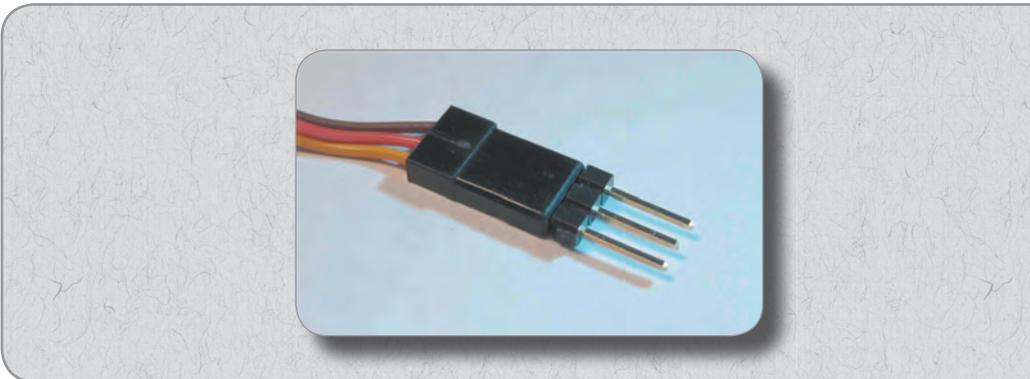


Abb. 2.26: Servokabel mit eingesteckter Stiftleiste

5 ELEKTRONISCHES SEHEN UND OPTISCHE SENSOREN

Fototransistoren arbeiten ähnlich wie gewöhnliche Transistoren. Der Unterschied besteht darin, dass beim Fototransistor Licht durch ein lichtdurchlässiges Gehäuse direkt auf den Halbleiter trifft. Häufig werden Fototransistoren, ähnlich wie Leuchtdioden, in transparenten Kunststoff verkapselt. Trifft das Licht auf den Halbleiterkristall, dann werden dort durch den inneren Fotoeffekt Ladungsträger freigesetzt. Der Fotostrom wird anschließend unmittelbar im Bauelement verstärkt, sodass ein Fototransistor kleine Lasten (im Milliamperebereich) direkt schalten kann.

5.1 | Der Fototransistor – das elektronische Auge

Fototransistoren haben meist nur zwei herausgeführte Anschlüsse – den Kollektor und den Emitter. Es gibt jedoch auch Ausführungen mit herausgeführtem Basisanschluss – z. B. zum Einstellen des Arbeitspunktes. Bleibt die Basis unbeschaltet, dauert es relativ lange, bis die Basis-Emitter-Zone frei von Ladungsträgern wird. Daraus resultiert u. a. das langsame Ausschaltverhalten des Fototransistors.

Andererseits sind Fototransistoren wesentlich empfindlicher als Fotodioden. Anwendungen finden sich deshalb zum Beispiel bei Lichtschranken, Dämmerungsschaltern und Optokopplern. In den Empfangseinheiten von Fernbedienungen werden jedoch meist Fotodioden eingesetzt, da Fototransistoren für diese Anwendung bereits zu langsam sind. Bei Fernbedienungen, oftmals aber auch bei Lichtschranken und Optokopplern, wird nicht mit sichtbarem Licht

gearbeitet, sondern mit Infrarot, da hier sowohl Fototransistoren als auch Fotodioden eine hohe Empfindlichkeit aufweisen.

Die Wellenlänge der maximalen Empfindlichkeit eines Silizium-Fototransistors liegt bei etwa 850 nm (nahes Infrarot) und fällt in Richtung kürzerer Wellenlängen (sichtbares Licht, Ultraviolett) ab. Der Empfangswellenlängen-Bereich wird hin zu größeren Wellenlängen durch die Energie der Bandkante von Silizium bei etwa 1100 nm begrenzt.

Für Messungen von Lichtintensitäten können somit entweder Fotodioden oder Fototransistoren eingesetzt werden. Der schnelleren Schaltzeit und der besseren Linearität der Kennlinie der Fotodioden steht bei Fototransistoren die deutlich höhere Empfindlichkeit gegenüber.

Dem Lernpaket liegt ein Fototransistor vom Typ BPW40 bei. Die wichtigsten Daten des BPW40 sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Maximale Versorgungsspannung	25 V
Dunkelstrom	100 nA
Kollektorstrom bei 1 mW/cm ²	0,5 mA
Max. Kollektorstrom	30 mA

Beispiele für typische Beleuchtungsstärken sind in der folgenden Tabelle zu finden:

	Beleuchtungsstärke	Kollektorstrom BPW40
Durchschnittliches Tageslicht	10.000 lx	20 mA
Büro- oder Zimmerbeleuchtung	1.000 lx	2 mA
Typische Flurbeleuchtung	100 lx	0,2 mA
Absolute Dunkelheit	0 lx	100 nA

5.2 | Test des Fototransistors

In Abb. 5.1 ist eine Testschaltung für den Fototransistor dargestellt. Da der Transistor bis zu 30 mA liefern kann, ist damit direkt eine Leuchtdiode ansteuerbar. Wenn der Fototransistor hell beleuchtet wird, leuchtet auch die LED hell auf. Wird er abgedunkelt, wird auch die LED dunkler. Mit diesem Versuch kann der Fototransistor auch eindeutig von der weißen LED unterschieden werden. Außerdem lassen sich Kollektor (üblicherweise mit Gehäuseabflachung gekennzeichnet) und Emitter unterscheiden. Es ist vorteilhaft, nach diesem Experiment den Kollektor mit einem Punkt zu markieren.

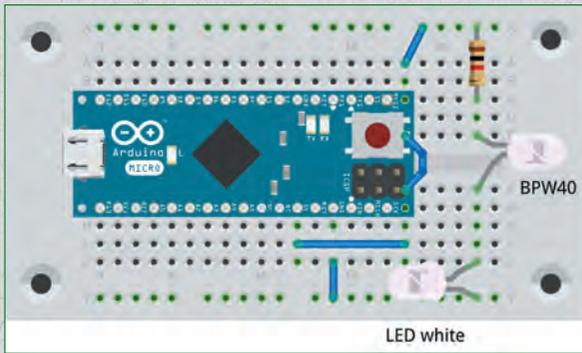


Abb. 5.1: Testschaltung für den Fototransistor

Die folgende Abbildung zeigt, wie die Drahtbrücke unter dem Arduino einzusetzen ist.

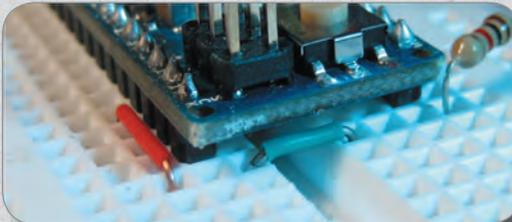


Abb. 5.2: Steckbrücke unter dem Arduino

In Abb. 5.1 und den folgenden Aufbauten muss aus Platzgründen eine Steckbrücke unterhalb der Arduino-MICRO-Platine eingebaut werden. Um diese Brücke einzusetzen, wird der Arduino am besten aus- und wieder eingebaut.

Wichtiger
Hinweis

5.3 | Für Keller und dunkle Flure: Eine Notbeleuchtung

Auch eine einfache Notbeleuchtung kann mit dem Fototransistor realisiert werden. Bei heller Umgebungsbeleuchtung erlischt die LED, da sie dann vom Fototransistor praktisch kurzgeschlossen wird. Bei dunkler Umgebung leuchtet die LED dagegen als Notbeleuchtung auf. Dabei wird der Arduino nicht wirklich benötigt. Er dient hier, genau wie im letzten Beispiel, lediglich als Spannungsquelle. Alternativ könnte die Schaltung auch mit Batterien betrieben werden. Dann muss natürlich der Arduino aus dem Breadboard entfernt werden.

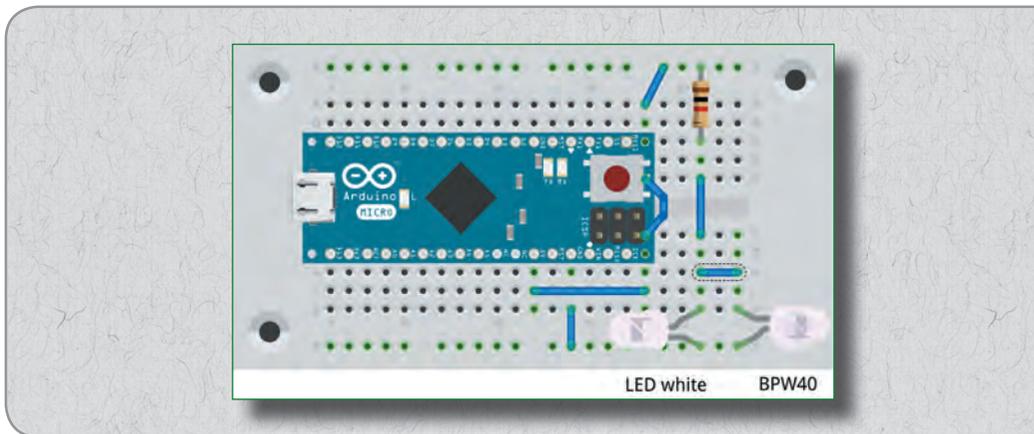


Abb. 5.3: Schaltbild Notbeleuchtung mit Fototransistor

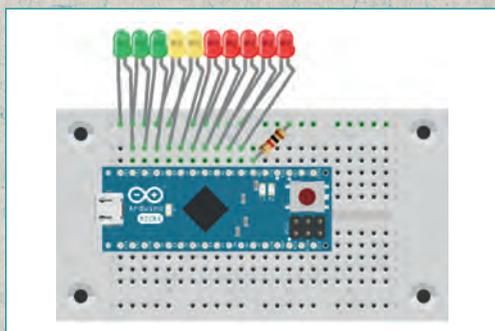
5.4 | Arbeitsplatz zu dunkel? Ein Fotometer schafft Klarheit

Die ausreichende Beleuchtung am Arbeitsplatz gehört zu den grundlegenden Voraussetzungen für effizientes Arbeiten. Im europäischen Raum ist genau geregelt, welche Leuchtstärke an einem bestimmten Ar-

TURN ON YOUR CREATIVITY

FRANZIS MAKER KIT PHYSICAL COMPUTING

Programmieren am Computer ist Ihnen zu langweilig, die LED anzusteuern auch? Dann sind Sie hier richtig: Verbinden Sie die reale mit der digitalen Welt und starten Sie mit Physical Computing. Nehmen Sie Werte mit Sensoren auf und steuern Sie Aktoren an. Anhand von mehr als 20 Praxisprojekten lernen Sie alles, um Ihre Projekte umsetzen, z. B. einen eigenen Roboter mit Motoren und Sensoren.



Dokumentation der Projekte mit übersichtlichen Schaltbildern.

44 BAUTEILE:

- | | |
|-------------------------|---------------------------|
| 1 Arduino™ Micro | 1 Blink-LED rot |
| 1 Steckplatine | 1 RGB-LED |
| 2 Micro-Servos | 1 Potenziometer mit Achse |
| 1 analoger Hallensensor | 2 Kondensatoren, 100 nF |
| 1 Tiltsensor | 2 Elkos, 100 µF |
| 1 Stabmagnet | 1 Schaltdraht, 2 m |
| 1 Piezo | 1 Pinreihe, 12-polig |
| 2 Fototransistoren | 1 Batteriebox |
| 1 NTC | |
| 5 LEDs rot | |
| 2 LEDs gelb | |
| 3 LEDs grün | |
| 1 LED weiß | |

Widerstände

- 6 x 1 kOhm
- 2 x 10 kOhm
- 2 x 100 kOhm
- 1 x 1 MOhm
- 1 x 10 MOhm

PROJEKTE:

- LED-Bargraphanzeige
- Strom aus Obst und Gemüse
- Computerthermometer
- Magische Temperaturkugel
- Frostwarner
- Temperaturgesteuerter Oszillator
- Notbeleuchtung
- Fotometer mit grafischer Anzeige
- Optische Abstandswarnung
- Schattenorgel
- Vollautomatischer Kurzeittimer
- Hallensorgesteuerte Bargraphanzeige
- Magnetische Waage
- 2-D-Servoglenk
- Miniroboterarm
- Fotosensorische Servosteuerung
- Megadisply mit Servomotor
- Thermometer mit Megaservodisplay
- Lichtkompass und magisches Detektivauge
- Piezo-Seismograf
- Piezogesteuerter Servo
- Mondphasendisplay

Zusätzlich erforderlich:
USB-Kabel und 4 x 1,5-V-AAA-Batterien

Für Kinder unter 14 Jahren
nicht geeignet!



Arduino™ ist ein eingetragenes Markenzeichen von Arduino LLC und den damit verbundenen Firmen.

© 2015 Franzis Verlag GmbH, Richard-Reitzner-Allee 2, D-85540 Haar, Germany
Innovationen, Irrtümer und Druckfehler vorbehalten.
Subject to innovation, errors and printing errors. 2015/01

ISBN 978-3-645-65284-1



9 783645 652841

FRANZIS