

Arduino im Physikunterricht

Mikrocontroller sind preislich günstig und bieten Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit, erste Programmiererfahrungen zu sammeln.

Alexander Pusch

```

1 void setup () {           // Zwei Schrägstriche: Alles, was von hier bis zum Zeilenende
2                           // Alle Befehle, die innerhalb der geschweiften Klammern vom
3
4   pinMode (6, OUTPUT);    // Pin 6 wird als OUTPUT definiert. An OUTPUTs kann der Ardui
5
6 }                          // Ende des Setups.
7
8
9 void loop () {           // Start der Schleife. Alles was innerhalb der loop steht, wi
10
11  digitalWrite (6, HIGH); // Befehl, der Pin 6 auf HIGH, d.h. 5V setzt
12  delay (1000);          // delay pausiert den Arduino für den Wert in milli-Sekunden
13  digitalWrite (6, LOW); // Befehl, der Pin 6 auf LOW, d.h. 0V setzt
14  delay (1000);
15
16 }                          // Ende der Schleife. Die Schleife wird jetzt wieder von vorn
17
18

```

Abb. 1 In der Arduino-IDE werden die Programme – so genannte „sketches“ – geschrieben und auf den Mikrocontroller geladen. Der Programmcode (links) lässt sich dabei für besseres Verständnis kommentieren (rechts). Die Syntax ist farblich hervorgehoben, was das Programmieren erleichtert.

Ein Blick in Geräte mit Stecker oder Akku zeigt: Mikrocontroller verschiedenster Art sind weit verbreitet und bereits lange in unserem Alltag angekommen. Sie fallen uns zudem als „eingebettete Systeme“, beispielsweise in Kaffeemaschinen, Armbanduhren, Spielzeugen, im Auto oder im „Smart-Home“, oft kaum noch auf.

Mittels der gerade im Hobby- und Bildungsbereich populären Mikrocontroller wie dem Arduino oder dem Raspberry Pi lassen sich auf sehr günstige und transparente Art Messwerte verschiedenster Sensoren erfassen und weiterverarbeiten (**Infokasten**). Sie können dadurch einen wertvollen Beitrag zur computergestützten Messwernerfassung im modernen Physikunterricht liefern. Die dabei erworbenen Kenntnisse kommen auch anderen kreativen Projekten in Schule, Schülerforschungswettbewerben oder Freizeit zugute, z. B. der Robotik oder Heimautomation.

Vor dem Einsatz von Mikrocontrollern im Physikunterricht müssen die (angehenden) Lehrkräfte und auch Schülerinnen und Schüler allerdings zunächst die Grundlagen erlernen. Dies ist leider – trotz vieler guter Dokumentationen und einer zu Beginn recht steilen Lernkurve – oft eine zunächst komplexe und unübersichtliche Aufgabe. Sie kann zuweilen auch durch unbekannte Programmiersprachen und Hardwarekomponenten sowie eine Vielzahl potenzieller Fehlerquellen abschreckend und frustrierend wirken.

Vor dem Hintergrund dieser Herausforderung soll dieser Beitrag das Potenzial des Einsatzes von Mikrocontrollern wie dem Arduino im Physikunterricht sowie mögliche Schwierigkeiten erläutern. Um die Grundlagen der Programmierung an einfachen Projekten wie Temperatur-, Lichtstärke- und Abstandsmessungen zu lernen, bietet sich ein mit Studierenden und Lehrkräften sowie Schülerinnen und Schülern erprobtes Konzept an.

Mikrocontroller im Physikunterricht

Mikrocontroller haben viele fachliche und methodische Anknüpfungspunkte im modernen Physikunterricht und ermöglichen fächerübergreifenden Unterricht vor allem mit Informatik und Technik, aber z. B. auch mit Chemie, Sport oder Kunst. Einfache Lehrer- und Schülerexperimente mit angeschlossenen Sensoren und Aktuatoren erlauben es, in fast jedem Inhaltsfeld der Schulphysik wie der Akustik, Elektrizitätslehre, Wärmelehre oder Optik Lerninhalte und Kompetenzen anwendungsnah zu vermitteln. Das Lernen erfolgt dabei handlungsorientiert, differenziert, individualisiert, kreativ sowie problemlösend und ist für die Lernenden sehr motivierend [1]. Zudem öffnet sich die „Blackbox“ von Messgeräten, da die Schülerinnen und Schüler etwas über die physikalische und technische Funktionsweise der verwendeten Sensoren sowie über das Messen selber lernen.

Was spricht aus didaktischer Sicht für den Arduino?

Beim Arduino handelt es sich um einen einfachen, quell-offenen und für Bildungszwecke konzipierten Mikrocontroller.^{#)} Die verschiedenen Bauformen unterscheiden sich vor allem in ihrer Größe und der Anzahl der Ein- und Ausgänge. Im Gegensatz zum ebenfalls weit verbreiteten Raspberry Pi, der sich unter anderem durch eine deutlich größere Rechenleistung und mehr Datenverarbeitungsmöglichkeiten auszeichnet, besitzt der Arduino aus didaktischer Sicht aber entscheidende Vorteile: Neben der Möglichkeit, Programme relativ einfach und direkt aufzuspielen, besitzt er zusätzlich zu digitalen Ein- und Ausgängen auch analoge Eingänge, um damit Spannungen bis zu 5 V zu messen. Somit lassen sich neben digitalen Sensoren auch viele analoge Sensoren wie Photowiderstände direkt auslesen. Die Hardware des Arduinos ist zudem relativ robust und ermöglicht mit den maximalen Ein- und Ausgangsspannungen von 5 V sicheres schulisches Experimentieren. Für Arduino-kompatible Boards sprechen zudem der sehr günstige Preis von wenigen Euro und die große Verfügbarkeit vieler ebenso günstiger Sensoren und Aktuatoren sowie umfassende Dokumentationen im Internet und in Büchern, zum Beispiel [2].

Das Schreiben der Programme – „Sketches“ – sowie das Transferieren per USB-Kabel auf den Arduino erfolgt z. B. mit der Arduino-IDE, die es für Windows, Mac, Linux und sogar browserbasiert gibt (Abb. 1). Die Programmiersprache ist C++ sehr ähnlich und somit zeitgemäß und damit später anschlussfähig an eine Ausbildung oder ein Studium.

Aller Anfang ist schwer

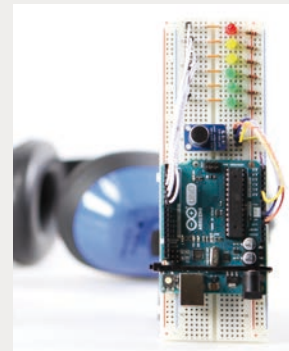
Die Schwierigkeiten beim Erlernen von Mikrocontrollern können in verschiedenen Bereichen liegen. Das fängt trivial mit dem Bedienen eines (neuen) Computerprogramms an, mit dem die Sketches geschrieben und auf den Arduino geladen werden. Eine Programmiersprache zu erlernen und anzuwenden ist aufgrund der ihr eigenen Begriffe, Regeln und Syntax nicht einfach oder zum Teil sogar kontraintuitiv. Hält man beispielsweise die Groß- und Kleinschreibung sowie bestimmte Reihenfolgen von Befehlen nicht ein oder vergisst, Befehle mit einem Semikolon abzuschließen, gibt es eine für Anfänger eher wenig verständliche Fehlermeldung.

Um Sensoren und Aktuatoren auszulesen bzw. anzusteuern, ist es erforderlich, neben der physikalischen

Was sind Mikrocontroller?

Ein Mikrocontroller ist ein Prozessor (samt Speicher) mit analogen und/oder digitalen Ein- und Ausgängen. Daran angeschlossen werden verschiedene Sensoren und Aktuatoren. Sensoren (lateinisch sentire: fühlen bzw. empfinden) wandeln eine physikalische Größe wie Temperatur oder Abstand in eine elektrische Größe um.

Aktuatoren (englisch actuator: Auslöser bzw. Handelnder) wandeln eine elektrische Größe in eine physikalische Größe um, z. B. eine Bewegung durch einen Motor, ein akustisches Signal mittels eines Lautsprechers oder ein optisches Signal auf einem Display.



auch die technische Funktionsweise in Grundzügen zu verstehen und anzuwenden. Ein Beispiel hierfür ist die Messung eines Abstands mittels des günstigen und weit verbreiteten Ultraschall-Abstandssensors HC-SR04 (Abb. 2). Physikalisch betrachtet geht es darum, die Laufzeit des an einem Objekt reflektierten Ultraschallsignals zu messen und daraus unter Einbeziehen der Schallgeschwindigkeit in Luft die zurückgelegte Strecke zu berechnen. Technisch gesehen übermittelt der Sensor die Zeitdauer aber nicht direkt als Wert an den Arduino. Der Arduino muss den Sensor zunächst mit einem elektrischen Signal gewissermaßen „auffordern“, eine Messung zu starten. Daraufhin sendet der Sensor ein elektrisches Signal an den Arduino zurück. Aus der Bestimmung der Zeitdifferenz zwischen diesen beiden Ereignissen leitet sich die Laufzeit ab, die sich wiederum in die vom Signal zurückgelegte Strecke umrechnen lässt.

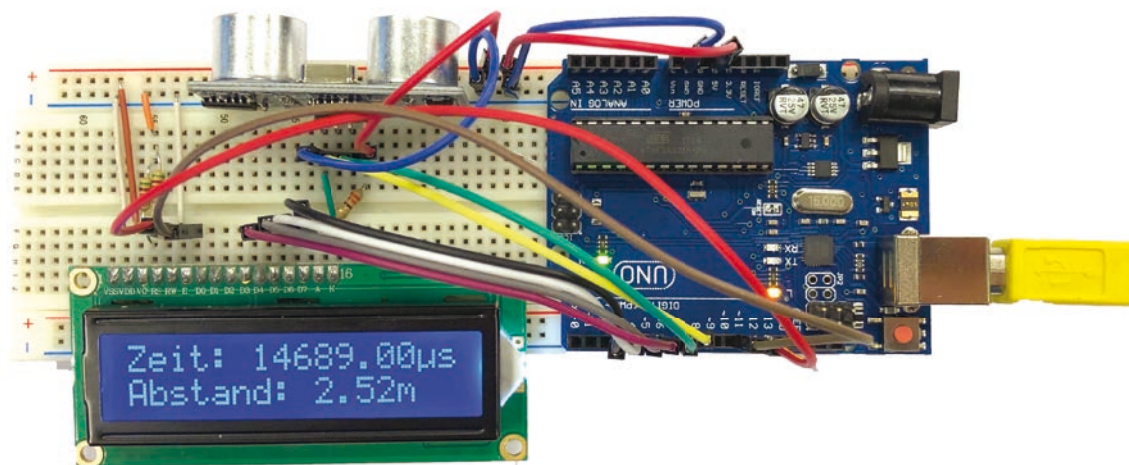


Abb. 2 Schaltung des Ultraschallsensors HC-SR04 (Mitte oben) auf einem Steckbrett. Auf dem Computer oder einem angeschlossenen Display lassen sich z. B. die Werte der Laufzeit und des berechneten Abstands angeben. Schallabsorbierende Materialien oder eine in den Messbereich gestellte Kerze ändern die gemessene Laufzeit.

#) www.arduino.cc



Abb. 3
Der Einstieg
in das Erlernen von
Arduino kann mit einer LED
(samt Vorwiderstand) gelingen. Diese
ist an einen der vielen digitalen Ausgänge
sowie gegen Masse (Ground) geschaltet.

Der Anschluss von Sensoren und Aktuatoren durch elektronische Schaltungen erfolgt meist auf einem Steckbrett, was kostengünstig und sehr flexibel ist (Abb. 2). Hier kann es aber gerade bei Anfängern zu Verwirrung, Fehlern oder Kurzschlüssen kommen, da die innere Verdrahtung im Steckbrett nicht direkt ersichtlich ist und die Komponenten oft mehrere Anschlüsse haben (zum Beispiel Versorgungsspannung, Masse und Datenleitungen). Weiterhin gilt es beim Anschließen der Sensoren und Aktuatoren, elementare Schaltungstechnik wie Reihen- und Parallelschaltung, Spannungsteiler, Vorwiderstand, Kathode und Anode einer LED zu verstehen und korrekt anzuwenden.

In Summe können diese potenziellen Fehlerquellen sehr frustrierend sein, da es Einsteigern oft kaum offensichtlich ist, ob ein Fehler nun beispielsweise in der Schaltung, im falsch ausgelesenen Sensor oder dem Programmcode liegt. Im Unterricht ist diese Vielzahl möglicher Schwierigkeiten gerade in der Anfangsphase des Lernens kritisch. Eigentlich spricht dies gegen den schulischen Einsatz.

Allerdings sind die Fähigkeiten wie das Aufbauen elektrischer Schaltungen, das Verständnis von Sensoren und Aktuatoren sowie das computergestützte Messen und Experimentieren auch Lerninhalte eines modernen Physikunterrichts. Das obige Beispiel mit dem Ultraschallsensor zeigt exemplarisch weitere Möglichkeiten für den Physikunterricht auf: Zur Berechnung der zurückgelegten Strecke aus der Laufzeit des (akustischen) Signals ist es erforderlich, die passende Formel auszuwählen und zu verwenden. Im Zuge einer Binnendifferenzierung kann die Lehrkraft die Formel im Programm ganz, teilweise oder gar nicht vorgeben. Um die jeweilige Berechnung beim Messen „kümmert“ sich nach korrekter Programmierung der Arduino. Dies ermöglicht es auch leistungsschwächeren Lernenden, zu experimentieren und dadurch Physik zu erlernen. Weitere Fachinhalte wie die Ausbreitung oder Absorption von Schall lassen sich mit diesem Projekt durch einfache Experimente erarbeiten.

Wie kann der Einstieg in Arduino gut gelingen?

Aufgrund der verschiedenen potenziellen Fehlerquellen und möglichen Schwierigkeiten müssen der Einstieg und das Erlernen von Arduino also deutlich komplexitätsreduziert und „geschlossener“ erfolgen. Der Einstieg kann gelingen mit dem Ansteuern und Blinken einer auf den Arduino gesteckten LED (Abb. 3). Dieses Projekt ist schaltungstechnisch wenig komplex und daher einfach und fast immer fehlerfrei nachbaubar. Dadurch ist es möglich, die Software (Arduino-IDE) kennenzulernen sowie erste Grundlagen der Programmierung anzuwenden: Befehle für das Ein- und Ausschalten der digitalen Ausgänge (digitalWrite), der Einsatz von Pausen (delay), um die LED schneller oder langsamer blinken zu lassen, sowie Schleifen (void loop), um Befehle zu wiederholen. Schon dieses sehr einfache Projekt ermöglicht es beispielsweise, das zeitliche Auflösungsvermögen des menschlichen Auges (durch Variation der Blinkfrequenz) zu bestimmen oder Informationen durch Morse-Codes optisch zu übertragen.

Nach einem Einstieg mit Lernaufgaben und Experimenten mit der LED können fortgeschrittene Projekte

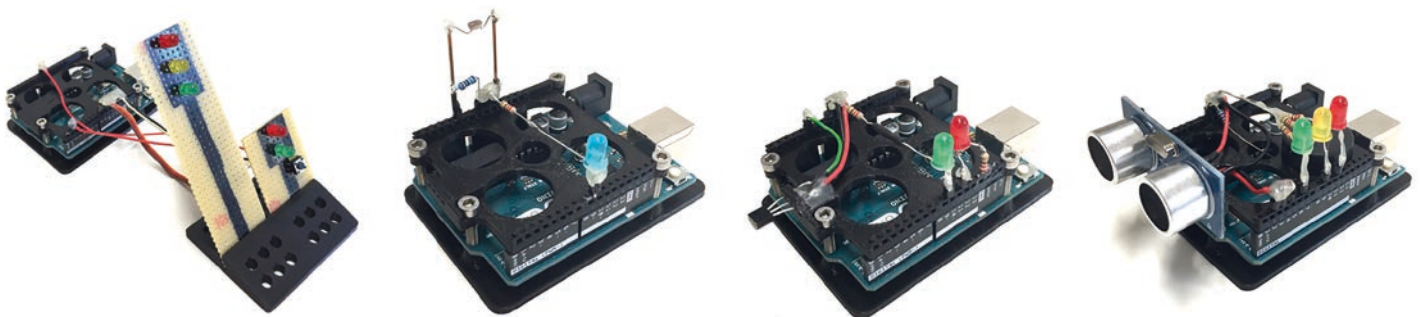


Abb. 4 Fertige Schaltungen aus verschiedenen Sensoren und Aktuatoren als Aufsätze („Shields“) für den Arduino: (v. l.) Ampelschaltung mit Taster, Lichtstärkesensor und LED, Temperatursensor mit LED, Ultraschallabstandssensor mit LED und Summer. Die Halterungen aus dem 3D-Drucker lassen sich auf den Arduino aufstecken und sind robust und günstig. Basisprogramme zu den Shields nehmen die Schaltung und die Komponenten rudimentär in Betrieb und führen durch Kommentierungen neue Programmbeefehle ein. Lernaufgaben erweitern die jeweiligen Basisprogramme schrittweise.

mit verschiedenen Komponenten, Schaltungen und Programmbeehlen folgen. Die Gefahr ist groß, dass hierbei Probleme auftreten, und nicht funktionierende Schaltungen und Programme machen die Fehlersuche für Lernende und Lehrkräfte sehr komplex und zeitaufwändig. Ein sinnvoller Ansatz ist es daher, die Komplexität durch den Einsatz von fertigen Schaltungen zu reduzieren.

Bei dem hier beschriebenen und erprobten Konzept werden die Komponenten fest auf einem Aufsatz aus dem 3D-Drucker verdrahtet und auf den Arduino gesteckt (Abb. 4). Angeschlossen werden verschiedene Kombinationen aus Sensoren und Aktuatoren, beispielsweise LED, Taster, Temperatursensoren, Ultraschallsensoren, Lichtstärkesensoren, Hallsonden und Summer.

Die Lernenden bekommen zu diesen fertigen Schaltungen jeweils ein passendes Basisprogramm, das die Schaltung rudimentär in Betrieb nimmt, neue Programmbeehle einführt und diese durch Kommentare im Programmcode direkt erläutert. Verschiedene Lernaufgaben können das Basisprogramm nach und nach erweitern, um die Verwendung von Schleifen und Abfragen, das Auslesen von analogen Eingängen, das Umrechnen von Werten, das Ansteuern von LEDs und des seriellen Monitors, das Zählen von Variablen oder die Bestimmung von Zeitdifferenzen zu erlernen und zu vertiefen. Mit den Schaltungen lassen sich komplexe alltags- und anwendungsorientierte Projekte wie eine optische und akustische Einparkhilfe, eine helligkeitsabhängige mehrstufige Beleuchtung oder eine Fahrzeug- und Fußgängerampel mit Anforderungskontakt realisieren. Zusätzlich zur aufsteckbaren Schaltung und dem Basisprogramm mit den Lernaufgaben werden auf einem Datenblatt Kontexte, Anwendungsmöglichkeiten sowie Hintergrundinformationen zu den Komponenten gegeben.

Sind die Grundlagen anhand der fertigen Schaltungen und Basisprogramme gefestigt, ist eine weitere „Öffnung“ durch Umsetzung elektronischer Schaltungen auf Steckbrettern möglich. Hierdurch lassen sich die oben beschriebenen Grundlagen der elementaren Schaltungstechnik erlernen und anwenden. Bei der Fehlersuche bringen die Lernenden nun bereits ein grundlegendes Verständnis für die Software, Programmiersprache und Funktionsweise der Komponenten mit, sodass diese sich nun deutlich einfacher gestaltet.

Ein Folgeprojekt auf Steckbrettern kann – um beim Beispiel des Ultraschallsensors zu bleiben – darin bestehen, die Auslenkung eines Federpendels zu bestimmen und dessen Schwingung mit Software wie Excel auszuwerten und zu visualisieren. Auch die Kombination mehrerer nun bereits bekannter Sensoren und Aktuatoren ist möglich. Mit dem Ultraschallsensor und dem Photowiderstand lässt sich beispielsweise das Licht-Abstands-Gesetz experimentell bestätigen. Die Kombination eines Ultraschallsensors und eines Summers ermöglicht es, ein berührungslos spielbares Musikinstrument (ein „Theremin“) zu bauen.

Fazit

Mikrocontroller wie der Arduino können zusammen mit einer Vielzahl von Sensoren und Aktuatoren den modernen Physikunterricht bereichern. In aktuellen Themenheften fachdidaktischer Zeitschriften sind dazu verschiedene Projekte für unterschiedliche Sensoren beschrieben [3, 4]. Als Hürde gilt es aber zunächst, die Grundlagen von Arduino zu erlernen – das gilt für Lehrkräfte wie Schülerinnen und Schüler gleichermaßen.

Angefangen mit einem einfachen Projekt wie der blinkenden LED über die fertig verschalteten Shields mit Basisprogrammen bis hin zur Öffnung auf die Arbeit mit Steckbrettern und weiteren Experimenten kann dieser Einstieg im Physikunterricht oder noch besser gemeinsam mit MINT-Lehrkräften fächerübergreifend erfolgen. Manche Schülerinnen und Schüler bringen sogar bereits aus der Grundschule erste Erfahrungen mit dem Calliope mit, einem grafisch zu programmierenden Mikrocontrollerboard mit integrierten Sensoren und Aktuatoren mit der Zielgruppe dritte Klasse aufwärts [5]. Die Microcontroller lassen sich – einmal eingeführt – im Laufe der Schullaufbahn an verschiedenen Stellen als selbstverständliches Instrument einsetzen, und zwar nicht nur in der Physik, sondern beispielsweise auch in Informatik oder Technik.

Die Programme, Aufgaben, Arbeitsblätter, Schaltpläne und 3D-Dateien sind unter physikkommunizieren.de/arduino-erlernen verfügbar.

Literatur

- [1] B. Wiesner und T. Brinda, Proc. of the 2009 ACM SIGCSE Ann. Conf. on Innovation and Technology in Computer Science Education, New York, ACM Press (2009), S. 403
- [2] K. Karvinen, T. Karvinen und V. Valtokari, Sensoren – messen und experimentieren mit Arduino und Raspberry Pi, dpunkt.verlag, Heidelberg (2014)
- [3] Unterricht Physik Nr. 167, Arduino, Raspberry Pi & Co, Friedrich Verlag, Seelze (2018)
- [4] H. Wiesner, Arduino, Plus Lucis 1, Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts, Wien (2018)
- [5] L. Murmann et al., Calliope mini. Eine Explorationsstudie im pädagogisch-didaktischen Kontext, Abschlussbericht (2018), bit.ly/2M6ayeN

Der Autor



Mich fasziniert die Anwendung der Physik in der Technik bzw. die Physik hinter technologischen Anwendungen und Entwicklungen sowie ihr Potenzial für die schulische, universitäre und berufliche Bildung. In der Arbeitsgruppe Didaktik der Physik an der Universität Münster bin ich immer

auf der Suche nach guten und zeitgemäßen Experimenten für die Schule und die universitäre Lehrerbildung. Um praxistaugliche Schüler- und Lehrereperimente zu entwickeln, verwende ich oft aktuelle Technologien, beispielsweise Komponenten aus dem 3D-Drucker oder den Mikrocontroller Arduino.

Dr. Alexander Pusch, Fakultät Physik, Institut für Didaktik der Physik, Universität Münster, Wilhelm-Klemm-Str. 10, 48149 Münster