

Arbeiten mit Arduino – pH-Wert messen (Lehrkräfte-Anleitung)

Was ist ein Arduino?

Ein Arduino ist ein Mikrocontroller, eine Art Mini-Computer. Dieser besteht aus der Hardware, dem Arduino-Board und einer dazugehörigen Software, der Arduino IDE, mit welcher das Arduino-Board programmiert werden kann. Es gibt viele verschiedene Arduino-Boards. Wird von „dem“ Arduino gesprochen, so ist meist – wie auch hier – der Arduino Uno gemeint.

Mit Hilfe der Software kann der Arduino zum Beispiel dazu programmiert werden, eine LED zum Blinken zu bringen. Es ist zusätzlich möglich, diverse Sensoren anzuschließen, deren Werte mit Hilfe des Arduinos ausgelesen werden können.


Dadurch ist Arduino auch als Messwerterfassungssystem im naturwissenschaftlich-technischen Unterricht einsetzbar. Der Vorteil ist, dass es sich bei Arduino um ein Open-Source-Projekt handelt, das darüber hinaus verhältnismäßig kostengünstig ist.



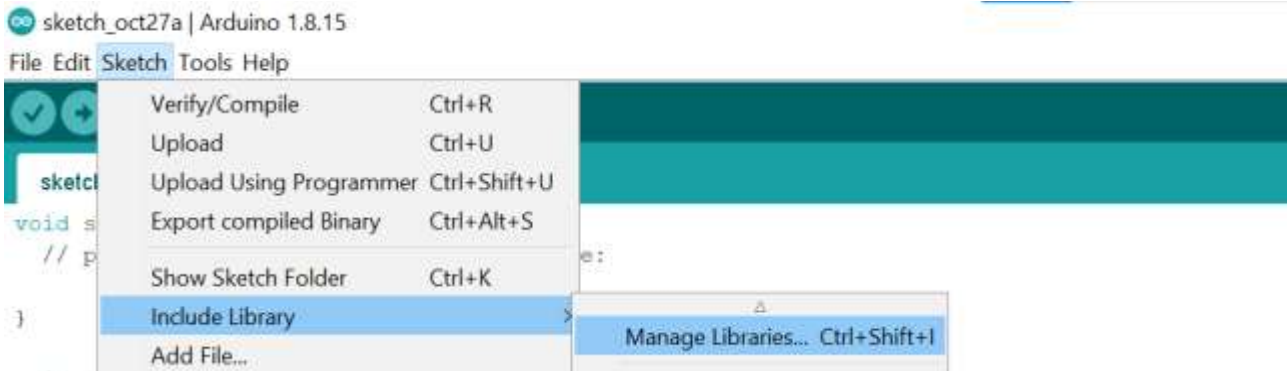
Abb. 1: Arduino Uno.

Erste Schritte mit dem Arduino

Um Arduino nutzen zu können, benötigen Sie das Arduino-Board und die dazugehörige Software Arduino IDE. Um die Programmierumgebung auf Ihren Rechner zu laden, können Sie dieser Anleitung folgen:

1. Gehen Sie auf die Website von Arduino: www.arduino.cc. Wählen Sie dann im Reiter „Software“ die passende Software für Ihr System aus und laden Sie diese herunter. Anschließend können Sie die Software nach Anleitung auf Ihrem Rechner installieren. Die Software ist kostenlos und steht unter einer freien Lizenz.
2. Laden Sie nun die passenden Programmcodes (Sketches) aus dem Medienportal herunter und öffnen Sie diese mit Hilfe der Arduino IDE.
3. Schließen Sie den Arduino mit Hilfe des USB-Kabels an Ihren Rechner an.
4. Laden Sie die Sketches mit dem Pfeil  links oben auf den Arduino hoch. Falls der Port (Anschluss) nicht automatisch erkannt wird, klicken Sie auf *Tools* → *Port*.
5. Falls Sie ein externes Display anschließen möchten, müssen Sie noch die passende Bibliothek einbinden. Bibliotheken erweitern die Funktionen der Arduino Software. Dazu klicken Sie auf *Sketch* → *Import library* → *Manage libraries*.

- Suchen Sie nun nach „LiquidCrystal_I2C“ (exakte Bezeichnung eingeben!). Möglicherweise müssen Sie etwas nach unten scrollen, bis Sie die passende Bibliothek gefunden haben. Installieren Sie diese Bibliothek.



Benötigte Materialien zur pH-Wert-Messung

Für eine pH-Wert-Messung mit dem Arduino benötigen Sie zunächst ein Arduino Uno-Board. Im Elektronik-Versandhandel finden Sie auch die benötigten Verbindungskabel und – falls gewünscht – das LCD-Display (Liquid Crystal Display) mit eingebautem I2C-Anschluss sowie das Steckbrett. Sie können jede beliebige pH-Elektrode mit einem BNC-Anschluss verwenden. Ausreichende Genauigkeit bieten auch günstige Modelle. Sie können zum Beispiel den hier verwendeten pH-Sensor PH-4520C pH kaufen.

Kalibrierung des pH-Sensors

Benötigte Materialien

- Laptop mit Arduino IDE
- Arduino-Board
- pH-Sensor (PH-4502C)
- pH-Elektrode mit BNC-Anschluss
- 4 Verbindungskabel (female – male)
- Schraubendreher

Benötigte Chemikalien

- Pufferlösung mit pH = 7,0

Anleitung

Bei der pH-Messung wird ein analoger Eingang des Arduinos verwendet. Im Gegensatz zu einem digitalen Eingang, der nur zwei Werte kennt („ein“ oder „aus“), können analoge Eingänge Spannungswerte von 0 V bis 5 V verarbeiten. Dies geschieht mit einer Auflösung von 1024 Stufen, also mit Werten von 0 bis 1023.

Um nun das gesamte Spektrum der pH-Werte abdecken zu können, muss der verwendete Sensor erst kalibriert werden. Da der Arduino keine negativen Spannungen auslesen kann, muss pH = 7 als „Mitte“ der pH-Skala auch genau auf die Mitte des Spannungsbereichs, also auf 2,5 V, gesetzt werden.

Dazu wird der pH-Sensor gemäß Abbildung am Arduino angeschlossen:

Arduino	pH-Sensor
5 V	V+
GND	G
GND	G
A0	P0

Die weiteren Pins (Anschlüsse) am pH-Sensor werden nicht benötigt.

Am pH-Sensor wird eine beliebige pH-Elektrode mit BNC-Anschluss angebracht; der Arduino wird per USB-Kabel mit einem Computer verbunden.

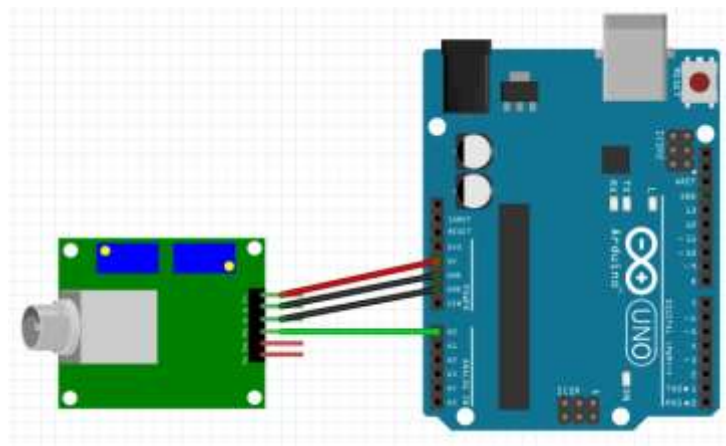


Abb. 2: Anschließen des pH-Sensors (erstellt mit Fritzing).

Nun wird die pH-Elektrode in eine Pufferlösung mit pH = 7,0 gegeben. Zu guter Letzt wird der Kalibrierungs-Sketch (File → Open → ...) auf den Arduino geladen (in der IDE links oben auf den Pfeil klicken):

```
void setup() { // This function is executed once at the beginning.
  {
    Serial.begin(9600); // Initialization of communication with the Arduino, 9,600 bits per second.
  }
  void loop() { // The function is continuously executed again and again.
    {
      int sensorValue = analogRead(A0); // The sensor value at pin A0 is to be read.
      float voltage = sensorValue * (5.0 / 1024.0); // The analog values (from 0 to 1023) are converted to voltage values (from 0 to 5 V).
      Serial.println(voltage); // The voltage value is output to the serial monitor.
      delay(1000); // Brief delay.
    }
  }
}
```

Auf dem seriellen Monitor (Tools → Serial monitor) können jetzt die Spannungswerte abgelesen werden.

Um den Sensor zu kalibrieren, muss das Potentiometer (blaues „Kästchen“), das näher am BNC-Anschluss liegt, reguliert werden. Dazu wird die Schraube am Potentiometer mit einem kleinen Schraubendreher so lange gedreht, bis bei pH = 7 ein Spannungswert von 2,50 V angezeigt wird.

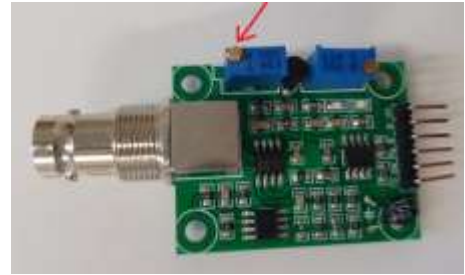


Abb. 3: Schraube, die am pH-Sensor gedreht werden muss.

Vorbereitungen zur pH-Wert-Messung

Benötigte Materialien

- Laptop mit Arduino IDE
- Arduino-Board
- pH-Sensor (PH-4502C)
- pH-Elektrode mit BNC-Anschluss
- 8 Verbindungskabel (female – male)
- 2 Verbindungskabel (male – female)
- LCD-Display mit eingebautem I2C-Anschluss
- Steckbrett
- ggf. Powerbank

Benötigte Chemikalien

- Pufferlösung mit pH = 7,0
- Pufferlösung mit pH = 4,0
- Pufferlösung mit pH = 10,0
- Zu testende Getränke oder ähnliche Flüssigkeiten

Hintergrund

Bei einer pH-Wert-Messung werden Referenzelektroden eingesetzt, die je nach pH-Wert unterschiedliche Spannungswerte ausgeben.

Der pH-Wert wird demnach nicht direkt gemessen, sondern muss aus der erhaltenen Spannung berechnet werden. pH-Elektroden verhalten sich im Bereich zwischen 0–14 annähernd linear. Um die Spannungswerte in pH-Werte umzurechnen, wird also eine lineare Gleichung in der Form $y = mx + b$ (Geradengleichung) benötigt. Für die Berechnung der Steigung m der Geraden sind die dazugehörigen Spannungswerte zu mindestens zwei pH-Werten nötig.

Das erste Wertepaar ist durch die Kalibrierung schon bekannt: pH = 7; U = 2,5 V

Nun wird die Spannung bei einem anderen pH-Wert, zum Beispiel pH = 4, gemessen.

m errechnet sich nun folgendermaßen:

$$m = \frac{\Delta \text{Spannung}}{\Delta \text{pH-Wert}} = \frac{\text{Spannung (pH=7)} - \text{Spannung (pH=4)}}{7 - 4}$$

Bei pH = 4 wurde beispielsweise eine Spannung von 3,0 V gemessen =>

$$m = \frac{2,5 - 3,0}{7 - 4} = -0,167$$

Zur Steigerung der Genauigkeit kann eine Zweipunkt-Kalibrierung vorgenommen werden, indem zusätzlich die Spannung bei pH = 10 gemessen und entsprechend der Mittelwert von m errechnet wird.

Es ist wichtig, zu verstehen, wie **m** zu Stande kommt, damit nachvollziehbar wird, wie die Spannungswerte im Programmcode („Sketch“) in pH-Werte umgerechnet werden:

```
pHvalue = (7 + ((2.5 - voltage)/0.167));
```

Hier findet sich der soeben berechnete Wert von **m** wieder. Diesen können Sie entsprechend Ihrer eigenen Messwerte anpassen.

Die genaue Umstellung der Formeln regt zu einer fächerübergreifenden Zusammenarbeit mit den Mathematik-Kolleginnen und -Kollegen an.

Exkurs

$$m = \frac{\Delta \text{Spannung}}{\Delta \text{pH}} = -0,167$$

$$-0,167 = \frac{2,5 - \text{Spannung}}{7 - \text{pH}}$$

$$0,167 = \frac{\text{Spannung} - 2,5}{\text{pH} - 7}$$

$$\text{pH} - 7 = \frac{\text{Spannung} - 2,5}{0,167}$$

```
pHWert = (7 + ((2.5 - spannung) / 0.167));
```

Die Konstante **b** in der Gleichung für eine lineare Funktion wird zunächst vernachlässigt, kann aber manuell auf einen beliebigen Wert gesetzt werden, falls sich systemische Abweichungen ergeben.

Anleitung

Laden Sie den passenden Programmcode auf den Arduino. Passen Sie gegebenenfalls den Wert für **m** an. Messen Sie die pH-Werte verschiedener Lösungen.

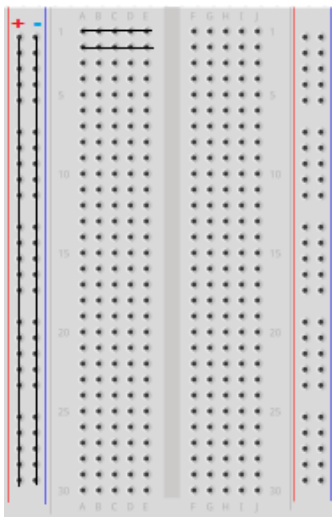
Anschließen eines Displays

Benötigte Materialien

- Laptop mit Arduino IDE
- Arduino-Board
- pH-Sensor (PH-4502C)
- 8 Verbindungskabel (female – male)
- 2 Verbindungskabel (male – female)
- LCD-Display mit eingebautem I2C-Anschluss
- Steckbrett
- ggf. Powerbank

Anleitung

Im Schulalltag ist es oft unpraktisch, den seriellen Monitor an einem Laptop zu nutzen. Daher bietet es sich an, ein Display zu integrieren. Es empfiehlt sich, ein LCD-Display mit einem I2C-Anschluss zu nutzen. Durch den eingebauten I2C-Anschluss sind wesentlich weniger Verkabelungen notwendig als bei einem normalen LCD-Display für Arduino.



Wenn ein Display integriert wird, können nicht mehr alle Kabel direkt am Arduino angeschlossen werden, sondern es muss ein Steckbrett dazwischengeschaltet werden. Nur so können das Display und der Sensor gleichzeitig mit Strom versorgt werden (5 V- und GND-Anschluss).

Das Steckbrett ist in zwei Hälften unterteilt. Jeweils am Rand befinden sich die Anschlüsse für die Stromversorgung. Diese sind in der Vertikalen leitend miteinander verbunden.

Im mittleren Bereich sind die Reihen jeweils entlang der Horizontalen leitend miteinander verbunden (siehe Abb. 4).

Abb. 4: Steckbrett (erstellt mit Fritzing).

Dementsprechend können die Bauteile nun gemäß der folgenden Darstellung (Abb. 5) verbunden werden:

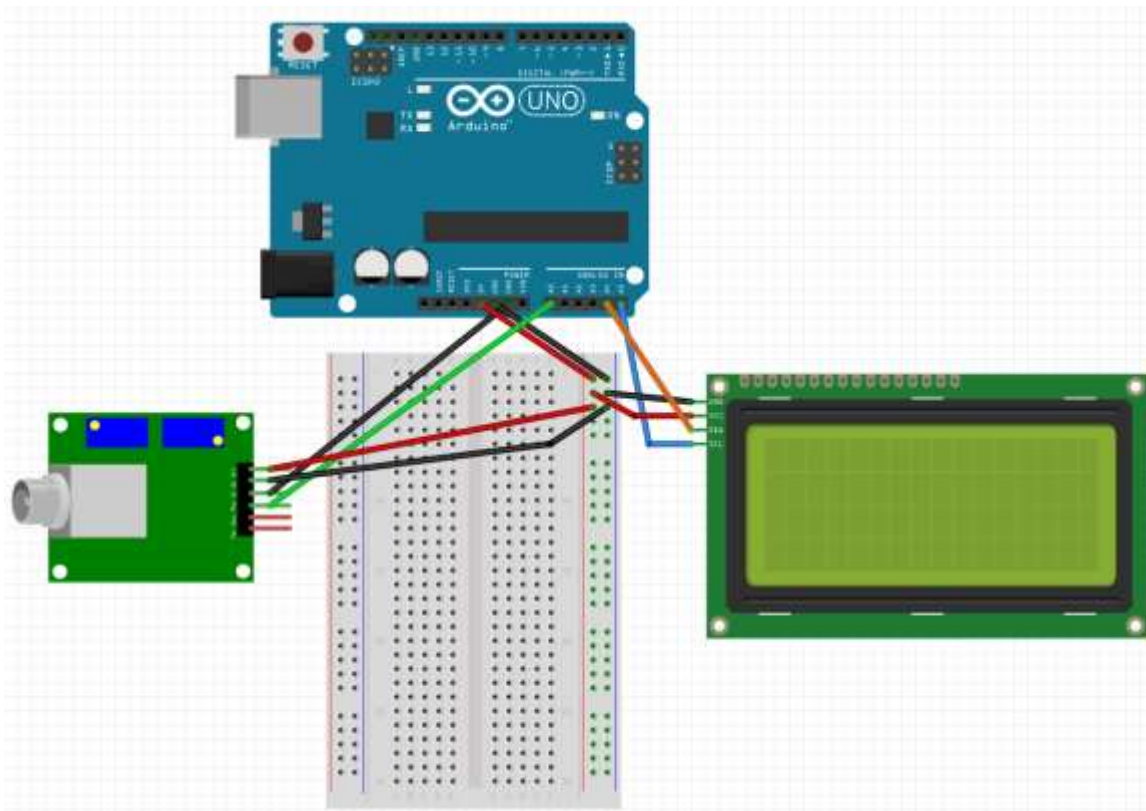


Abb. 5: Anschließen des Displays und des pH-Sensors mit Hilfe eines Steckbretts (erstellt mit Fritzing).

pH-Sensor	Arduino	
V+	5 V	Via Steckbrett
G	GND	Via Steckbrett
G	GND	Direkt
P0	A0	Direkt

Display	Arduino	
GND	GND	Via Steckbrett
VCC	5 V	Via Steckbrett
SDA	A4	Direkt
SCL	A5	Direkt

Code

Um ein Display verwenden zu können, muss die Bibliothek „LiquidCrystal_I2C“ in die Arduino IDE heruntergeladen und entsprechend eingebunden werden (siehe allgemeine Anleitung, Seite 1). Die zusätzlichen Programmzeilen, die benötigt werden, um mit dem Display zu kommunizieren, sind bereits im zur Verfügung gestellten Sketch (z. B. „pH_Sketch_mitDisplay“) enthalten. Wenn als Stromversorgung eine Powerbank genutzt wird, kann die pH-Messung nach Hochladen des entsprechenden Sketches auch ohne Verwendung eines Laptops durchgeführt werden.