

pH-Messung mit dem Arduino – Auslesen einer potentiometrischen pH-Sonde

ARNE FALK – ALEXANDER PUSCH

Potentiometrischen pH-Sonden sind mittlerweile sehr günstig für unter 10 € zu bekommen. An ihnen fällt eine vom pH-Wert abhängige Potentialdifferenz im Bereich von etwa $-0,5\text{ V}$ bis $+0,5\text{ V}$ an, die aber leider mit einem Arduino aus mehreren Gründen nicht direkt ausgelesen werden kann. In diesem Artikel wird eine preiswerte Messschaltung vorgestellt, um potentiometrische pH-Sonden an einem Arduino auslesen zu können. Die Messschaltung verschiebt die anfallende Potentialdifferenz in den positiven Wertebereich und verstärkt die Spannung für die Messung mit dem Arduino. Eine Halterung aus 3D gedruckten Teilen kombiniert die Bestandteile zu einer praktischen, kompakten Messstation. Neben den Messergebnissen können auch Anweisungen zur Bedienung sowie Aufgabenstellungen für Lernende auf dem LC-Display angezeigt werden, wodurch die Messstation auch für Schülerexperimente eingesetzt werden kann.

1 Der pH-Wert im Chemieunterricht

Der pH-Wert ist der negative dekadische Logarithmus der H^+ bzw. der H_3O^+ -Ionen-Konzentration. Lösungen mit einem pH-Wert von unter 7 sind sauer, Lösungen mit einem pH-Wert über 7 sind alkalisch. Die Bestimmung des pH-Wertes von Lösungen ist eine wichtige Methode und typischer Lerngegenstand im Chemieunterricht. Exemplarisch heißt es im Rahmen des Inhaltsfeldes 5 „Stoffe des Alltags“ des KLP Naturwissenschaft in Nordrhein-Westfalen (KLP NRW NW, 38f.) dass Schüler/innen „Beispiele für alltägliche saure und alkalische Lösungen nennen und ihre Eigenschaften beschreiben (UF1)“

sowie „mit Indikatoren Säuren und Laugen nachweisen (E5)“ können. Hierfür können schultypische Indikatorlösungen, Teststreifen oder auch die potentiometrische pH-Messung verwendet werden.

Aufgrund des hohen Preises sind potentiometrische pH-Messgeräte in Schulen aber eher nur in geringer Stückzahl vorrätig und werden daher meist als Demonstrationsexperiment eingesetzt. Es gibt mittlerweile für ca. 10 € günstige pH-Sonden¹, die z. B. für den Bereich der Aquaristik konzipiert sind. Die Kombination günstiger pH-Sonden mit Mikrocontrollern wie dem Arduino bietet eine preislich und experimentell interessante Alternative der schulischen pH-Messung (vgl. z.B. NEHRING & WALKOWIAK, 2016).

Allerdings können pH-Sonden nicht ohne zusätzliche Messschaltung mit einem Arduino ausgelesen werden. Die Gründe, warum es am Arduino nicht ohne zusätzliche Messschaltung funktioniert, sowie die Funktionsweise der potentiometrischen Sonde und der Messschaltung selber können für die Lernenden einen (weiteren) Zugang zum Funktionsprinzip von potentiometrischen pH-Sonden, zur Thematik pH-Messung sowie zur Sensorik mit Mikrocontrollern eröffnen.

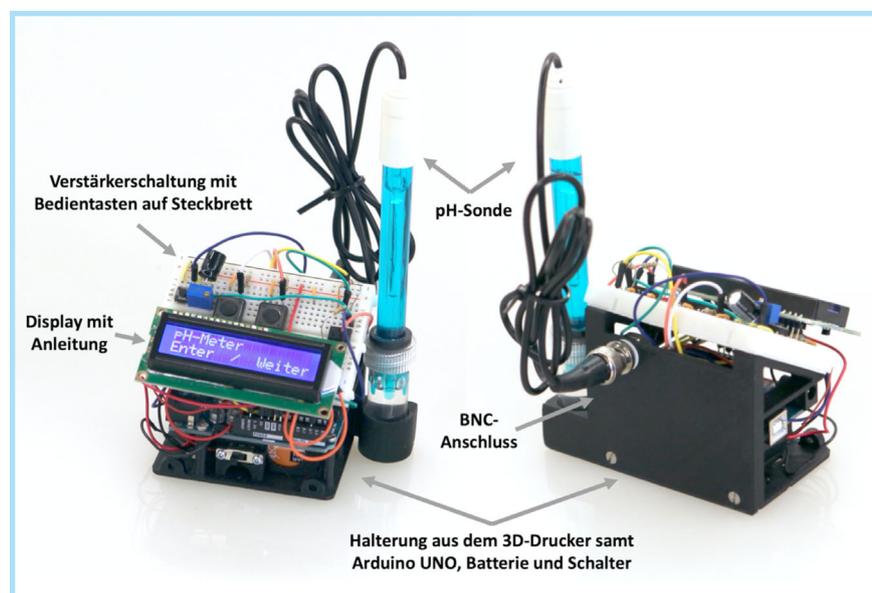
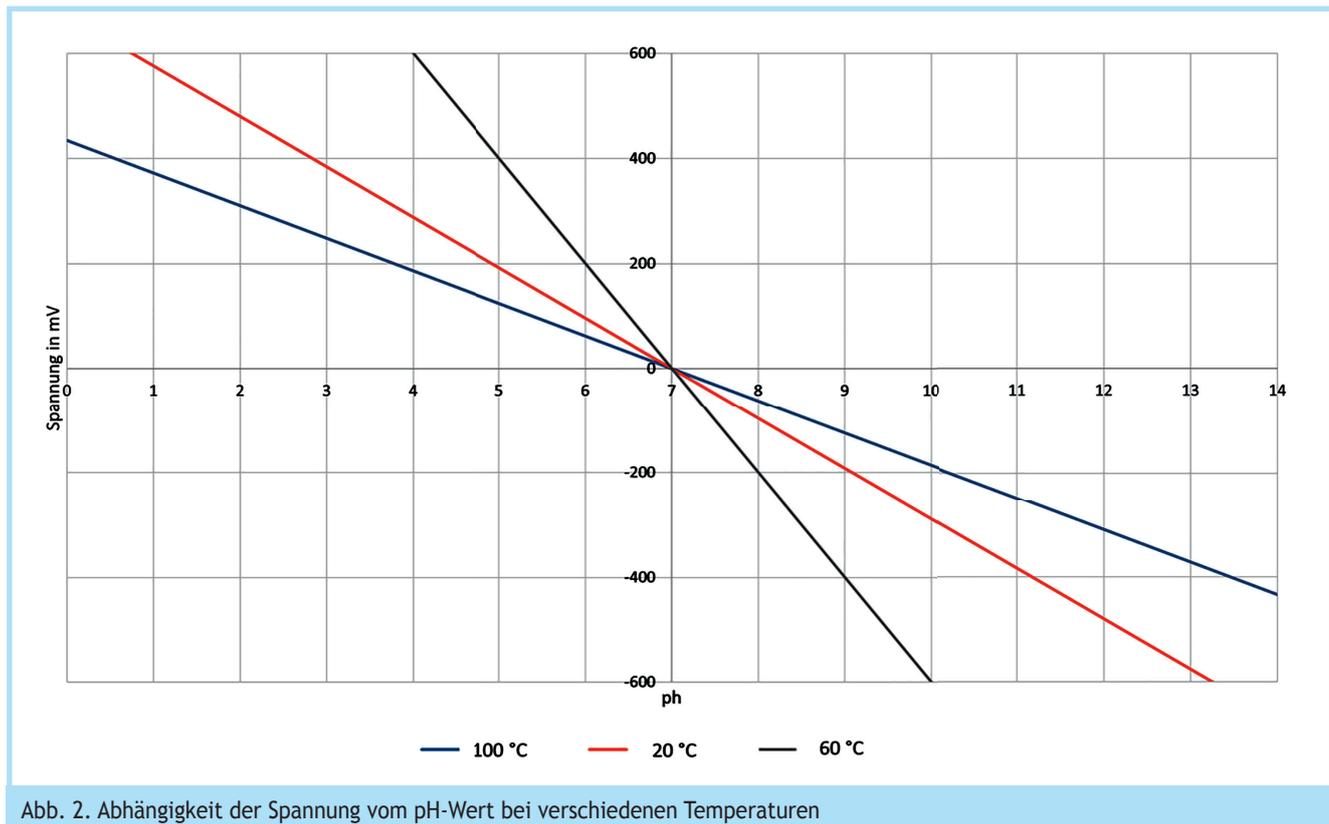


Abb. 1. Günstige Messschaltung zur Ermittlung des pH-Wertes mit einem Arduino, einfachen elektronischen Bauteilen sowie optionalen Elementen aus dem 3D-Drucker. Auf dem Display wird der pH-Wert und die Bedienungsanleitung zur Kalibrierung angezeigt.

2 Wie kann man den potentiometrischen pH-Wert mit einem Arduino messen?

Günstige potentiometrische Sonden funktionieren nach dem Prinzip der Glaselektrode. Eine dünnwandige Glaskugel ist mit einer Lösung mit bekanntem und konstantem pH-Wert (Pufferlösung) gefüllt.

¹ Z.B. https://www.amazon.de/MASUNN-Elektrodenanschlus-Hydroponik-Controller-Messgerat/dp/B075F1HVCD/ref=sr_1_11?__mk_de_DE=ÅMÅŽŃ&dchild=1&keywords=ph+sonde+bnc&qid=1616490023&sr=8-11



Sie wird in die Probelösung mit unbekanntem pH-Wert eingetaucht. In der Innen- und Außenlösung befinden sich zwei Ableit-elektroden (zum Beispiel Silberchloridelektroden) mit festgelegter Konzentration der Kaliumchloridlösung. Die zwischen den Elektroden entstehende Potentialdifferenz ist von der pH-Differenz zwischen Innen- und Außenlösung abhängig. Die gemessene Spannung weist eine lineare Abhängigkeit vom pH-Wert auf (Abb. 2). Die Steigung der Geraden ist temperaturabhängig, ihr Wert liegt bei Raumtemperatur bei etwa 0,059 V pro pH und resultiert aus der Nernst-Gleichung. Die reale Steigung der Geraden der Spannung ist in der Praxis aber für jede pH-Elektrode unterschiedlich und kann mit der Zeit abnehmen (DEGNER, 2009).

Die vom pH-Wert abhängige Spannung an einer Sonde liegt im Bereich von - 0,5 V bis + 0,5 V. Mit dem Arduino können allerdings nur positive Spannungen zwischen 0 V und 5 V gemessen werden. Bei Lösungen mit einem pH-Wert größer 7 liegen die Spannungen allerdings im negativen Bereich und können daher nicht direkt gemessen werden. Zudem ist die standardmäßige Auflösung des Arduino (z. B. Uno oder Nano) etwa 5 mV und damit vergleichsweise grob. NEHRING & WALKOWIAK (2016) beschreiben den Einsatz des Arduinos zur Messung des pH-Wertes im Chemieunterricht mit einer fertigen, kommerziellen Messschaltung. Diese ist allerdings vergleichsweise kostenintensiv (Messschaltung und pH-Sonde liegen etwa bei 30–40 € zzgl. Arduino und Display) und stellt für Lernende in Ihrer genauen Funktionsweise eine „Black-Box“ dar.

In dem hier beschriebenen Ansatz von FALK (2019) wird die benötigte Verstärkerschaltung mit einfachen Komponenten wie

dem Operationsverstärker TLC272 nach einer Idee von ROCHA et al. (1995) realisiert. Die Verstärkerschaltung (Abb. 3) hat drei Aufgaben:

1. Die Verschiebung des Potentials der Messsonde um etwa 1 V in den positiven Bereich, damit die Werte für den Arduino messbar sind.
2. Die lineare Verstärkung, damit die Werte durch den AD-Wandler des Arduino besser aufgelöst werden können.
3. Das Verhindern der Entladung der Elektroden durch Stromfluss mit einer hochohmigen Schaltung.

Liegt durch die Messschaltung erst einmal eine vom pH-Wert abhängige Spannung am analogen Eingang des Arduinos an, ist die Weiterverarbeitung im Arduino relativ simpel. Je nach Verstärkungsfaktor ist die Steigerung des Potentials pro pH-Einheit bei Raumtemperatur ein fester Wert und kann somit linear umgerechnet und auf dem LC-Display angezeigt werden. Die Bedienung der Messschaltung erfolgt mittels zweier Tastschalter. Die optionale Halterung aus dem 3D-Drucker dient dazu, die auf einem Steckbrett realisierte Schaltung kompakt und transportabel zu halten.

Zur Kalibrierung der pH-Sonde und Messschaltung werden z. B. Pufferlösungen verwendet. Eine Pufferlösung besteht aus einer schwachen Säure und ihrer konjugierten schwachen Base. Ihr pH-Wert ändert sich daher bei Zugabe einer begrenzten Menge an Säuren bzw. Basen nur geringfügig und sie stellen sich quasi selbst auf einen bestimmten pH-Wert ein (PURVES, 2011, 45). Die Messelektrode wird in verschiedene bekannte Puffer-

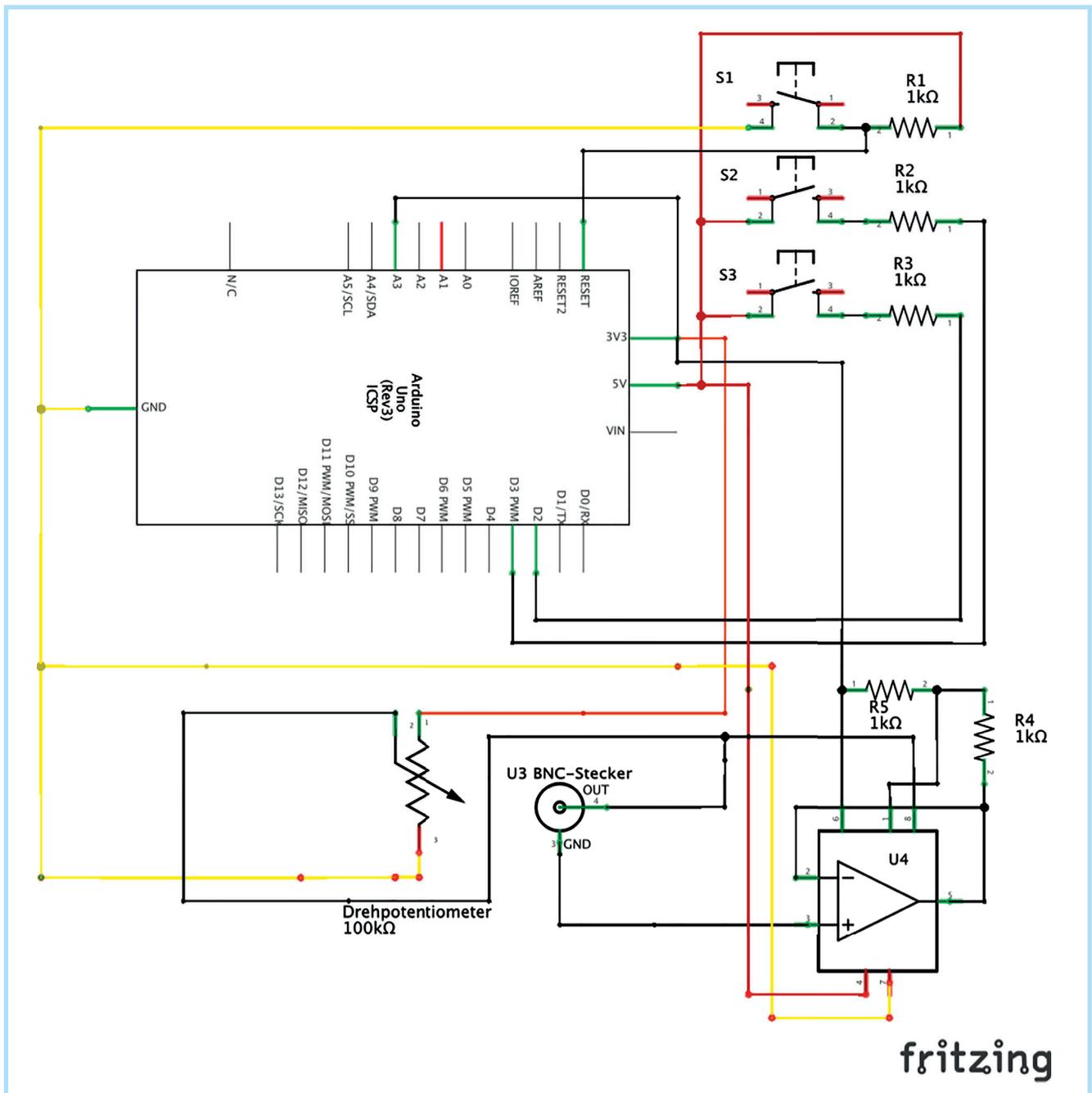


Abb. 3. Schaltplan der Messschaltung (ohne Display und Batterie) nach FALK (2019).

lösungen getaucht und der jeweilige pH-Wert abgelesen und notiert. Zwischen den Lösungen muss die Sonde jeweils gründlich mit demineralisiertem Wasser gespült und abgetupft werden. Aus mindestens zwei Messwerten bei bekanntem pH-Wert der Pufferlösung kann anschließend die Spannungsänderung pro pH-Einheit ermittelt werden. In unseren Test lieferte das pH-Meter zuverlässige, mit pH-Teststreifen vergleichbare Ergebnisse (FALK, 2019). Es wurde bei unserer verwendeten Verstärkerschaltung eine Spannung von $U = 0,14 \text{ V/pH}$ (d. h. Verstärkungsfaktor ca. 4) ermittelt. Bei mehrfach wiederholten Tests mit Pufferlösungen der pH-Werte 4 und 7 und lagen die Ergebnisse im Rahmen einer maximalen Ungenauigkeit von $\pm 1 \text{ pH}$.

3 Kann man auch die pH-Sonde selber bauen?

ROCHA et al. beschrieben bereits 1995, wie eine pH-Elektrode aus einer kleinen, dünnwandigen Christbaumkugel hergestellt werden kann (Abb. 4). Für die Referenzelektrode wird ein Glasrohr benötigt. Die Herstellung geht mit einem didaktischen Mehrwert, aber auch höheren Aufwand einher. Für die Schüler/innen ist bei der Variante mit zwei Elektroden leichter ersichtlich, dass es sich um einen geschlossenen Stromkreis handelt, da auch für die Messung zwei separate Elektroden benötigt werden (Messelektrode und Referenzelektrode). Die Spannung ist für die Lernenden als eine Potentialdifferenz zwischen zwei Polen so womöglich einfacher begreifbar.

Diese Sonde muss allerdings vor jedem Einsatz kalibriert werden, da die Silberchloridschicht auf dem Silberdraht nicht sehr lange haltbar ist. Der Spannungsunterschied pro pH-Einheit wird mit der Zeit immer geringer, bis er ganz verschwindet, wenn die Silberchloridschicht vollständig in die Lösung übergegangen ist.

Die längere Haltbarkeit und die präzisere Messung der industriellen Elektrode spricht für einen Einsatz der industriellen Elektrode bei Schülerexperimenten. Die Elektrode aus der Christbaumkugel kann dennoch gut als Einstieg in das Thema genutzt werden und das Prinzip der Messung verdeutlichen und die „Black-Box“ der pH-Messung weiter zu „öffnen“.



Abb. 4. Nach den Vorgaben von ROCHA ET AL. (1995) gefertigte Referenzelektrode (links) pH-Elektrode (rechts).

Fazit

Die hier vorgestellte Messstation ist vergleichsweise kostengünstig, die Einzelteile liegen je nach Bezugsquelle unter 20 € und eine einfache pH-Sonde kostet um ca. 10 €. Die Messstation besitzt unserer Meinung nach, großes Potential, um etwas über die potentiometrische pH-Messung zu lernen. Die Kalibrierung sowie die Bestimmung von pH-Werten verschiedener Lösungen könnten einfache (Schüler/innen-)Experimente sein.

Zur Kalibrierung wird mittels Drucktaster der entsprechende Programmpunkt gewählt. Die Anweisungen auf dem Bildschirm führen durch den Prozess. Es können auch konkrete Experimentieranleitungen auf dem Bildschirm angezeigt werden, die Schritt für Schritt von den Lernenden durchgegangen werden. Als Beispiel dafür wurden zwei Experimente umgesetzt: Titration sowie die Messung des pH-Wertes von Haushaltsflüssig-

keiten (z. B. Zitronenreiniger (sauer) oder Abflussreiniger (alkalisch)). Das Programm auf dem Arduino führt durch die Schritte der Messmethode des Experiments und kann somit die Automatie erhöhen und die Struktur bei der Durchführung verbessern.

Obwohl die Bestimmung des pH-Wertes vorrangig ein Inhalt des Chemieunterrichts ist, zeigen sich auch fächerübergreifende Einsatzmöglichkeiten. So kann die pH-Messung im Biologieunterricht für Boden- und Gewässeruntersuchung genutzt werden und auch aus physikalischer Sicht ist die potentiometrische pH-Messung interessant. Der Betrieb mittels Arduino sowie die Fertigung der Halterung bietet ebenfalls Anknüpfungsmöglichkeiten im Technik- und Informatikunterricht.

Unter <http://physikkommunizieren.de/ph-meter/> sind Programmcode, 3D-Bauteile, Teileliste und vollständiger Schaltplan verfügbar.

Literatur

DEGNER, RALF (2009). *pH-Messung. Der Leitfaden für Praktiker*. Wiley-VHC, Weinheim.

FALK, ARNE (2019). *Ein low-cost pH-Messgerät für den MINT-Unterricht*. Masterarbeit an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster.

KLP NRW NW (2013). *Kernlehrplan für die Gesamtschule – Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen. Naturwissenschaften Biologie, Chemie, Physik*. https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/130/KLP_GE_NW.pdf (16.03.2021)

NEHRING, ANDREAS & WALKOWIAK, MALTE (2016). Ein pH-Meter für den Chemieunterricht selbst anfertigen und programmieren. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule*, 65 (2016) 2, 39-42.

PURVES, W K., SADAVA, D E., & MARKL, J. (2011). *Biologie* (9. Aufl.). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

DA ROCHA, ROGERIO, GUTZ, IVANO & DO LAGO, CLAUDIMIR (1995). From Christmas Ornament to Glass Electrode. *Journal of Chemical Education*, 72 (12), 1135–1136.

ARNE FALK studierte die Fächer Physik und Chemie auf Lehramt an der WWU Münster und absolvierte sein Referendariat an der Zumbusch-Gesamtschule in Herzebrock-Clarholz.

Dr. ALEXANDER PUSCH ist Studienrat im Hochschuldienst am Institut für Didaktik der Physik an der WWU Münster. ■