

MORRIGAN:

Portable Messstation zur Auswertung von Wasserqualität mit Raspberry Pis

Leonie Riedel (17) und Michelle Wallmann (19)

Bremerhaven

Projektbetreuende: Wolfram Bajus und Katja Pertliczek

Fachgebiet: Informatik

Wettbewerbssparte: Jugend forscht

Bundesland: Bremen

Wettbewerbsjahr: 2025

I. Projektüberblick

Thema:

Unser Projekt dreht sich um die Entwicklung und Optimierung einer tragbaren Wassermessstation. Ziel ist es, grundlegende Wasserdaten zu analysieren und eine kostengünstige, anwenderfreundliche Lösung zu schaffen, die für Citizen Science und private Nutzer geeignet ist.

Ziel:

Wir möchten eine Messstation entwickeln, die einfach zu bedienen, tragbar und für Endnutzer zugänglich ist. Mit dieser Station sollen Wasserparameter wie Temperatur, pH-Wert, Trübung, gelöster Sauerstoff und gelöste Feststoffe gemessen werden, um die Trinkbarkeit und Qualität von Wasser zu bewerten.

Idee:

Die Inspiration kam durch das Erasmus+-Projekt „ARWAQUTE“ einer griechischen Schule, das auf der Arduino-Plattform basiert. Wir sahen das Potenzial, das Konzept zu erweitern, insbesondere in Richtung Portabilität und Benutzerfreundlichkeit.

Umsetzung:

Wir haben Sensoren (z. B. für Temperatur, pH-Wert, Turbidity und Dissolved Oxygen) an einen Raspberry Pi angeschlossen und diese mit einem selbst entwickelten Interface verbunden, das über eine Weboberfläche zugänglich ist. Dies erlaubt eine Echtzeit-Anzeige der Messdaten. Die Station wurde so konstruiert, dass sie tragbar ist und möglichst wenig externe Hardware benötigt.

Ausblick:

- Optimierung der Hardware durch die Entwicklung eines spezifischen HATs für den Raspberry Pi.
- Verbesserung der Benutzeroberfläche, um sie inklusiver und barrierefreier zu gestalten.
- Mögliche Integration weiterer Sensoren und eine Reduktion der Kabel, um die Station kompakter zu machen.

Inhaltsverzeichnis

I. Fachliche Kurzfassung.....	1
1. Einleitung.....	2
1.1. Motivation.....	2
1.2. Hintergrund.....	2
1.2.1 Wassermessstationen.....	2
1.2.2 Citizensresearch.....	3
1.2.3 ARWAQUTE: Projekt der griechischen Schule.....	3
1.3 Grundlegende Wasserdaten der Station und Auswertung von Trinkbarkeit anhand dieser.....	3
1.3.1 Temperatur.....	4
1.3.2 pH-Wert.....	4
1.3.3 Total Dissolved Solids.....	4
1.3.4 Dissolved Oxygen.....	4
1.3.5 Turbidity.....	5
2. Das Projekt.....	5
2.1 Orientierung.....	5
2.2 Kommunikation mit dem Pi.....	6
2.3 Das Anschließen der Sensoren und die dazugehörigen Experimente.....	6
2.3.1 DS18B20 Temperatur Sensor.....	6
2.3.2 Analog-Digital-Wandlung mithilfe des ADS1115.....	7
2.3.3 pH Meter V2 SEN0161-V2.....	7
2.3.4 Dissolved Oxygen.....	8
2.3.5 TDS.....	9
2.3.6 Turbidity.....	9
2.3.7 Das User Interface.....	9
3. Ergebnis.....	9

I. Fachliche Kurzfassung

Unser Projekt widmet sich der Entwicklung und Optimierung einer tragbaren Wassermessstation, die wesentliche Wasserparameter wie Temperatur, pH-Wert, Trübung, gelösten Sauerstoff und gelöste Feststoffe analysiert. Aufbauend auf dem Erasmus+-Projekt "ARWAQUTE" haben wir die ursprüngliche Idee erweitert, um eine portable, benutzerfreundliche Lösung zu schaffen, die für Citizen Science und private Anwendungen zugänglich ist.

Wir haben Sensoren an einen Raspberry Pi angeschlossen und ein intuitives Web-Interface entwickelt, das Echtzeitdaten visualisiert. Wissenschaftlich untersuchten wir die Messgenauigkeit und die Abhängigkeiten der Parameter, z. B. die Auswirkungen der Temperatur auf den pH-Wert oder den Sauerstoffgehalt. Dabei wurde gezeigt, dass kostengünstige Sensoren trotz Kalibrierung Abweichungen aufweisen, die jedoch für unsere Zielgruppe akzeptabel sind.

Die Ergebnisse betonen, dass Wasserqualität komplex ist und viele Faktoren berücksichtigt werden müssen. Unsere Lösung bietet eine kostengünstige Möglichkeit, grundlegende Wasserparameter zu analysieren und Citizen Science zu fördern, während zukünftige Optimierungen wie kompaktere Hardware und eine verbesserte Barrierefreiheit geplant sind.

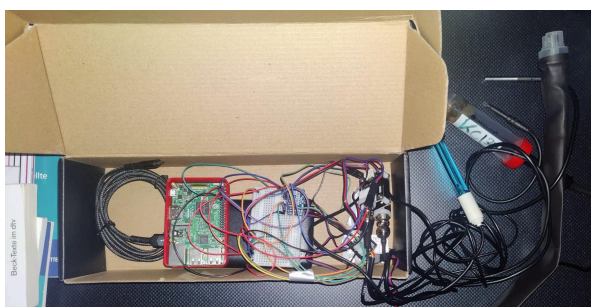


Abbildung 1: Die Messstation von oben (geöffnet)

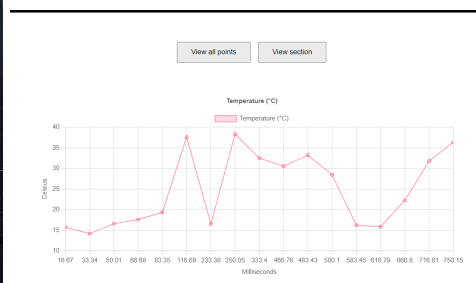


Abbildung 2: Das WebUI

1. Einleitung

1.1. Motivation

Diese Jugend Forscht Arbeit wurde als Teil einer Profilarbeit im Rahmen des Profil Kurses Informatik/Mathematik 24/25, der gymnasialen Oberstufe des Schulzentrums Carl von Ossietzky Bremerhaven, erarbeitet. Schon bevor das Projekt begann, war uns bewusst, dass wir ein Projekt mit Mikroprozessoren oder Single-Board-Computern (SBCs) einleiten wollten. Grund dafür war, dass wir es sehr Interessant fanden, dass Computer von ihrem Original riesigen Maßen zu den nun Kreditkarten großen Modellen gewachsen sind und trotzdem immer weiter ihre Leistung erweitern. Des Weiteren hatte Michelle Wallmann auch ein näheres Interesse an der Thematik von Sensoren, da sie vorher noch nie mit solchen gearbeitet hatte. Noch bevor wir uns selber auf ein Thema einigen konnten wurde uns von Herr Ehlert, einem Lehrer der CVO GyO, das Erasmus+ Projekt in Thessaloniki vorgestellt, dort hatte eine griechische Schule, das Second Lyceum of Kalamaria, auf Basis der Arduino Plattform eine kleine Messstation zur Ausmessung der Trinkbarkeit von Wasser erfunden. Dies nannten sie „ARWAQUTE“ ([OpenedTech 2024](#)). Das Thema hatte uns natürlich sofort interessiert, während Michelle Wallmann vor allem ein Interesse an dem Wasser Analytischen Teil hatte, hatte Leonie Riedel an dem biologischen Aspekt einer möglichen Profilarbeit Interesse. Die spezifische Frage, die wir uns gestellt hatten, als Ziel für unsere Forschung, war, welche technischen und gestalterischen Verbesserungen sind notwendig, um eine Wassermessstation portabler und anwenderfreundlicher zu gestalten? Dabei stellten sich natürlich mehrere Vermutungen auf, die wir überprüfen wollten. Erstens wurde uns von unserem

Profilkurs Leiter, Herr Herrmann, vorgeschrieben, dass wir, für das Projekt Raspberry Pi 3's benutzen, daraufhin hatte Leonie Riedel direkt die Hypothese aufgestellt, dass dies auf Raspberry Pi's zu übertragen ein Problem darstellen würde, da die Raspberry Pi's keine Analogen Pins haben und nur auf Python laufen, sodass das dies auf anderen Plattformen evtl. einfacher sein könnte. Des Weiteren hatte Leonie Riedel die Vermutung, dass die Auswertung von Wasserdaten, und vor allem die Auswertung der Trinkbarkeit von Wasser, nicht so einfach sein würde, wie das "Ampel-System" von ARWAQUTE vorgeschlagen hatte. Letztlich entwickelte sich natürlich die Vermutung, dass die kostengünstigen Sensoren, die für das Projekt benutzt werden, Nachteile haben werden.

1.2. Hintergrund

Daraufhin hatten wir uns überlegt, an welche Themenbereiche diese Arbeit nun anknüpft. Der simpelste Aspekt war natürlich solcher Messstation oder Wassermessstationen selbst, da wir ja schließlich eine bauen wollten. Der nächste Faktor, den wir nach etwas Recherche gefunden hatten war Citizen Science ([Fraisl et al. 2022](#)), da wir eine kostengünstige Messstation bauen wollten, die theoretisch auch Privatpersonen die Möglichkeit gibt, Grundlegende Wasserdaten zu messen. Letztlich war ein Anschlusspunkt natürlich das Projekt, an dem wir nun Anschließen wollten namens ARWAQUTE.

1.2.1 Wassermessstationen

Messstationen spielen eine immer größere Rolle im Erfassen, Überwachen von Wasserdaten besonders für das frühzeitige Erkennen von Verschmutzungen sowie um Vermutungen bilden zu können, wie sich das System weiterhin entwickelt ([Pellerin et al. 2016](#)). Traditionelle Messstationen sind in der Regel fest installiert, technisch komplex und mit hohen Kosten verbunden. Diese Eigenschaften

machen sie für Privatpersonen oder kleinere Organisationen oft unbrauchbar ([Fraisl et al. 2022](#)).

Gleichzeitig sind viele Messstationen von ihrer Konzeption her auf spezifische Anforderungen zugeschnitten und daher nicht immer flexibel anpassbar.

Unsere Arbeit knüpft also an indem wir versuchen selber eine Messstation zu bauen, die größtenteils ohne diese Probleme arbeiten kann.

1.2.2 Citizensresearch

Citizensresearch, auch bekannt als Citizen Science, ist eine Praxis, bei der die Öffentlichkeit an wissenschaftlicher Forschung teilnehmen darf. Die Vorteile davon wurden insbesondere während der COVID-19-Pandemie deutlich ([Raineart 2025](#)).

Bürgerforschung ermöglicht geringere Personalkosten, da sie größtenteils von unbezahlten Freiwilligen durchgeführt wird, und trägt gleichzeitig erheblich dazu bei, die Menge der für Wissenschaftler verfügbaren Datensätze zu erweitern. ([Ullrich 2024](#)). Dabei sollte jedoch berücksichtigt werden, dass jedem Freiwilligen ein Messgerät zur Verfügung gestellt werden muss, was die Forschungskosten erhöhen könnte.

Dennoch wird Citizen Science häufig in der wissenschaftlichen Gemeinschaft diskutiert, was zu einer Vielzahl von Artikeln führt, die sowohl den „chaotischen Aspekt“ solcher Arbeiten ([Weigelhofer und Pölz 2016](#)) als auch die Schlussfolgerungen erläutern, dass Bürgerforschung „die Arbeit von Fachleuten übertreffen kann“ ([Kosmala et al. 2016](#); [Bishop et al. \(2025\)](#)). Unsere Arbeit knüpft an dieses Thema an, indem wir versuchen eine kostengünstige Lösung zur Untersuchungen von grundlegenden Wasserfaktoren für einzelne Privatpersonen um Citizen Science zu unterstützen.

1.2.3 ARWAQUTE: Projekt der griechischen Schule

Das Second Lyceum of Kalamaria hatte erst eine kleine Messstation zur Auswertung von Temperatur, pH, Turbidity, Total Dissolved Solids (TDS) und Dissolved Oxygen (DO) gebaut. Diese war auf Basis der Arduino Plattform, spezifischer dem Arduino Mega 2560 Rev3. Sie hatten die verschiedenen Sensoren per Breadboard an den Arduino angeschlossen, die gelesenen Sensor Daten wurden dann per Breakout Board auf eine Micro-SD Karte im CSV Format geschrieben. An dem Arduino war außerdem ein LCD angeschlossen, das je nach abgegebenen Sensor Daten auf verschiedene Anzeigen schaltete: 1. Gute Qualität (Grün), 2. Medium Qualität (Orange) und 3. Schlechte Qualität (Rot). Die Messungen wurden nur in vitro genommen und die Messstation wurde an ein festes Netzteil angeschlossen.

Unsere Arbeit knüpft genau dort an, unser Ziel war es, das originale Konzept der Schule zu nehmen und es nach generell akzeptierten Faktoren zu verändern, erweitern und anzupassen.

1.3 Grundlegende Wasserdaten der Station und Auswertung von Trinkbarkeit anhand dieser

Unsere Messstation hatte die Sensoren Liste von ARWAQUTE übernommen. Der erste Schritt war nun natürlich zu hinterfragen, ob die gemessenen Werte reichen, um die Trinkbarkeit von Wasser einschätzen zu können. Nach Recherche zeigte sich, dass noch viel mehr Faktoren als solche, die wir messen, die Trinkbarkeit von Wasser beeinflussen ([Olatunde 2022](#)). Allerdings hatten wir auch herausgefunden, dass Sensoren wie Phosphat oder Nitrat Sensoren oft sehr groß und teuer sind, was das Ziel des Projektes invalidieren würde. Letztendlich blieben wir also bei Temperatur, pH-Wert, Total Dissolved Solids, Dissolved Oxygen und Turbidity

1.3.1 Temperatur

Die Temperatur beeinflusst die Qualität des Wassers auf viele Weisen. Ab einer Temperatur von 4°C bildet das Wasser eine Eisschicht auf der Oberfläche, was zum Beispiel die Fische dazu bringt, den Wohnort zu wechseln ([FWU Institut 2025](#)). Die meisten Fische leben in den Temperaturen von 10°C bis zu 20°C, sie sterben daher bei einer zu hohen Temperatur, da aufgrund von Sauerstoffmangel die Fische nicht mehr Atmen können ([SEAWATER Cube](#)). Des Weiteren beschleunigt die hohe Temperatur auch die Reaktionsgeschwindigkeit, was dazu führt, dass sich die Moleküle schneller bewegen ([StudySmarter GmbH 2025](#)), dies beeinflusst z.B. den Dissolved Oxygen Wert, da frei gelöster Sauerstoff schneller austritt unter der hohen Bewegung. Viele der anderen Qualitäten, die wir messen, sind von der Temperatur abhängig, dazu gehören der pH-Wert, Total Dissolved Solids und Dissolved Oxygen.

1.3.2 pH-Wert

Der pH-Wert zeigt an, ob eine Lösung basisch oder sauer ist. In den Bereichen des pH-Wertes von 6,5 bis 9,5 gilt Wasser als generell trinkbar. Dabei gilt der pH-Wert von 7 als eine neutrale Lösung, da alles unter 7 säuerlich ist und alles über 7 basisch ([UBA 2004](#)). Die Temperatur hat einen großen Einfluss auf den pH-Wert, wenn die Temperatur steigt, sinkt der pH-Wert, jedoch wenn die Temperatur sinkt, steigt der pH-Wert. Die beiden Werte hängen stark zusammen, daher muss man vorher die Temperatur messen, um den pH-Wert zu kompensieren ([Wiley Analytical Science 2021](#)). Das Säure-Base-Gleichgewicht hängt von der gleichen Teilchenzahl von Oxonium- und Hydroxid-Ionen ab. Bei der Veränderung der Temperatur wird dabei das Säure-Base-Gleichgewicht verschoben und der pH-Wert liegt nicht mehr im neutralen Bereich. Um

den pH-Wert auszurechnen, wird die Konzentration von Oxonium-Ion gebraucht. Dabei gilt die Formel: $\text{pH} = -\lg(c(\text{H}_3\text{O}^+))$ ([FWU Institut 2025 \(2\)](#)). Man kann aber auch anhand der Nernstsche Gleichung den pH-Wert berechnen. Dafür werden zwei Konzentrations-Halbzellen benötigt, hierfür benutzen wir das Redoxpaar $\text{H}_3\text{O}^+/\text{H}_2$. Die Oxonium-Ionen werden in Wasserstoff Gase umgewandelt, dabei werden die Reaktionen Oxidation und Reduktion in den Halbzellen stattfinden. Die Reaktionen sehen folgend aus:

Oxidation: $2\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}_3\text{O}^+ + 2\text{e}^-$
 Reduktion: $2\text{H}_3\text{O}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{H}_2$

Dadurch entsteht eine Konzentrationsdifferenz der Oxonium-Ionen, die laut der Nernst Gleichung eine Spannung hat, die man messen kann ([Studyflix 2025 \(2\)](#)). Beim Messen können viele Abweichungen vom eigentlichen Ergebnis entstehen, da die Nernst Gleichung von einer optimalen Reaktions Umgebung ausgeht.

1.3.3 Total Dissolved Solids

Die Werte von Total Dissolved Solids (TDS) stehen für "gesamte gelöste Feststoffe". Es zeigt an, wie leitfähig das Wasser ist und wird in ppm angezeigt. ppm steht für "part per million", dabei handelt es sich um die Summe von gelösten Feststoffen wie Salze, Mineralien oder Metalle ([OsmoFresh 2025](#)). Um die Leitfähigkeit messen zu können, benötigen wir einen EC-Wert. Es steht für die elektrische Leitfähigkeit und ist abhängig von der Ionenkonzentration. Reines Wasser hat keine Ionenkonzentration und ist daher nicht leitfähig. Dazu ist auch die Leitfähigkeit von der Temperatur abhängig und spielt dabei auch eine wichtige Rolle. Der EC-Wert wird mit Siemens/Meter gemessen. ([SEBA Hydrometrie GmbH & Co. KG 2019](#)).

1.3.4 Dissolved Oxygen

Dissolved Oxygen (DO) steht für den gelösten Sauerstoff und ist gleichzeitig auch ein Maß für die

Menge des gassförmigen Sauerstoffes im Wasser. Der gelöste Sauerstoff führt dazu, dass das Wasser sauber ist und die Tiere darin normal leben können. Es gibt drei Wege, wie gelöster Sauerstoff in das Wasser gelangen könnte: Absorbierung aus der Atmosphäre, schnelle Bewegungen erzeugt durch Wind, Strömungen, Wellen oder mechanische Belüftung, oder Photosynthese durch die Pflanzen. Dabei spielen verschiedene Faktoren zum Beitrag der Konzentration des gelösten Sauerstoffs mit. Einer der Faktoren ist der Druck, je höher der Druck in der Atmosphäre ist, desto mehr Sauerstoffmoleküle kann das Wasser aufnehmen. Die Temperatur spielt hier auch wieder eine wichtige Rolle, da bei niedrigen Temperaturen mehr gelöste Sauerstoffe aufgenommen werden können. Im warmen Wasser bewegen sich die Sauerstoffmoleküle schneller, was dazu führt, dass sie vom Wasser in die Luft abweichen. Des Weiteren ist auch die Fläche sowie die Tiefe des Wassers wichtig, da bei flachem Wasser die DO-Konzentration höher ist als bei tiefen Gewässern. Salinität ist die Bezeichnung für den gelösten Salzgehalt im Wasser. Salze beeinflussen die Löslichkeit von Gasen, was der Grund dafür ist, dass wenn die Salinität niedrig ist, dies zu einer höheren Konzentration der gelösten Sauerstoffs führt. Ebenso wenn die Bioaktivität von Mikroorganismen gering ist, steigt dadurch die Konzentration von gelöstem Sauerstoff, da die Mikroorganismen Sauerstoff für die Atmung benötigen ([Hach 2025](#)). Wenn man DO misst, gibt es viele verschiedene Einflüsse, die den Wert beeinflussen. Zum Beispiel können schnelle Bewegungen im Wasser dazu führen, dass der Sauerstoff übersättigt ist.

1.3.5 Turbidity

Die Turbidity auch genannt Trübung, zeigt an, wie durchdringend das Licht im Wasser ist.

Trübung kommt entweder durch natürliche Ereignisse hervor wie starken Regen, fallende Blätter und Mikroorganismen, oder auch durch menschliche Ereignisse wie Bauarbeiten und Industrieabfälle. Dies führt dazu, dass das Wasser trübe und verschwommen wird. Durch diese natürlichen und menschlichen Abfälle bilden sich Sedimentschichten. Werden das Sediment im Wasser nicht richtig kontrolliert, bildet sich immer mehr von der Schicht und führt dazu, dass dies sogar ins Trinkwasser gelangt ([GlavierFresh 2024](#)). In diesem Schmutz sind Schwebeteilchen, die dafür sorgen, dass das Licht reflektiert wird. Die Trübung wird gemessen, die Einheit dafür ist NTU, kurz für Nephelometric Turbidity Units. NTU-Messgeräte, werfen einen Lichtstrahl ins Wasser, um die Streuung des Lichts im Wasser zu messen. Die Trübung ist abhängig davon, wie viele Partikel sich im Wasser befinden, das heißt, je mehr Schwebeteilchen vorhanden sind, desto größer ist die NTU-Zahl im Wasser. Da eine hohe NTU-Zahl auch eine starke Trübung bedeutet, sind Messungen im Wasser von einer niedrigen NTU-Zahl, zum Schutz des Trinkwassers wichtig. Eine niedrige NTU-Zahl bedeutet allerdings nicht, dass keine Verunreinigungen im Wasser vorhanden sind. ([Wasserfilteroase 2025](#))

2. Das Projekt

2.1 Orientierung

Der erste Schritt unseres Projektes war herauszufinden, wie man ARWAQUTE erweitern konnte und ob diese sinnvoll für den uns gewählten Bereich waren. Die Messstation war nach Überlegungen in mehrere Bereiche expandierbar, die Arten von Sensoren, also was man alles messen kann, die Portabilität der Station und die Nutzbarkeit auf Software-Ebene. Nach wiederholter Recherche zeigt sich, dass andere Arten von Sensoren oft den kostengünstigen Rahmen des

Projektes nicht erreichen konnten, dies lag daran, dass Sensoren wie Phosphor Sensoren oft sehr teure komplexe Geräte sind. Andererseits wurde uns sofort klar, dass wir die anderen beiden Aspekte verbessern konnten.

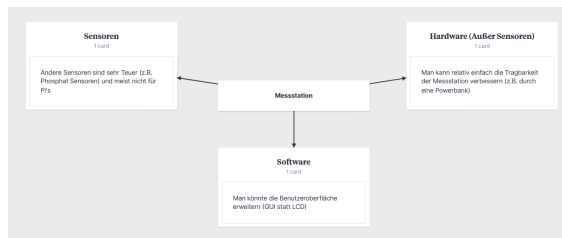


Abbildung 3: Erweiterbarkeit der Faktoren

2.2 Kommunikation mit dem Pi

Schon bevor wir die ersten Sensoren anschließen, mussten wir uns entscheiden, wie genau Nutzer mit dem Pi kommunizieren sollen und wie man diesen steuern sollte. Wir waren uns schnell einig, dass wir nicht wie "ARWAQUTE" eine Auslesung per LCD oder manueller Entfernung von der Micro-SD Karte haben wollten, da wir dies für relativ Endnutzer unfreundlich hielten. Das erste, wofür wir uns also entschieden, war, dass der Pi durch ein Smartphone oder ähnliches Gerät, das einen mobilen Hotspot aufbaut, mit dem der Pi sich automatisch verbindet, über SSH kontrolliert wird. Später in der Entwicklung soll der Pi dann auf seinem lokalen Netzwerk eine Website hosten, auf der die Daten live in einen Graphen eingetragen werden. Aufgrund dieser vernetzten und Echtzeit Natur hatten wir uns entschieden den Pi MORRIGAN zu nennen, welches für **Mobile Optimized Real-time Resource Interface Gauge Network** steht.

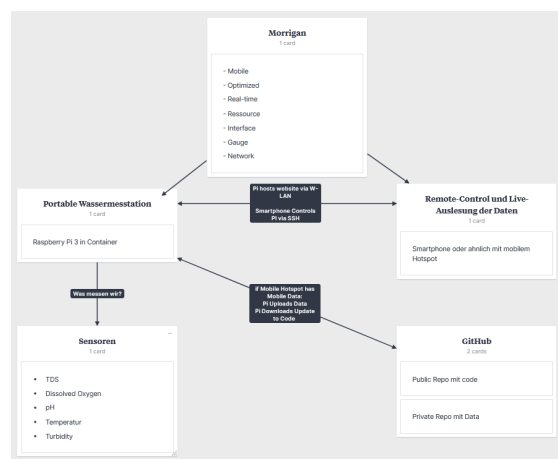


Abbildung 4: Plan der Messstation

2.3 Das Anschließen der Sensoren und die dazugehörigen Experimente

2.3.1 DS18B20 Temperatur Sensor

Den ersten Sensor den wir angeschlossen hatten war der Waterproof DS18B20 Temperatur Sensor von Gravity, der 7.09€ kostet, dieser kommt eingebaut mit einem Resistor und muss nicht kalibriert werden, sodass wir uns ein bisschen Arbeit sparen konnten. Der Temperatursensor unterscheidet sich von den anderen Sensoren in dem er digital über das 1-Wire-Interface redet und nicht wie die anderen Sensoren analog. Der Pi hat Standardmäßig Pin 4 als GPCLK0 (general purpose clock 0) oder auch 1-Wire-Port, sodass wir dieses lediglich in den raspi-config Einstellungen einschalten mussten. Das Prinzip des Sensors ist relativ simpel, er schreibt über das 1-Wire-Protocol in eine .txt Datei den aktuellen Messwert, wenn man diesen Messwert dann durch 1000 teilt, erhält man die Temperatur in °C. Daraufhin hatten wir den Standard Quellcode des Herstellers leicht modifiziert und die Temperatur wurde uns in °C mit 2 Nachkommastellen ausgegeben. Die Standard Fehlervariable des Sensors ist $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$.

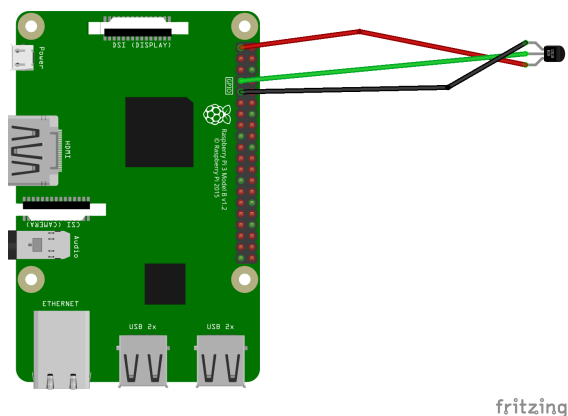


Abbildung 5: DS18B20 Schaltung

2.3.2 Analog-Digital-Wandlung mithilfe des ADS1115

Die anderen Sensoren sind analoge Sensoren anstatt digitaler, das heißt, dass anstatt von 0 und 1 der Sensor eine Spannung ausgibt. Der Raspberry Pi 3 hat keine analogen Pins, daher müssen wir einen externen Analog-Digital-Wandler benutzen, dafür benutzen wir den ADS1115 der einen eingebauten 4-fach Multiplexer. Diesen mussten wir löten und dann per I2C an den Pi anschließen. Nachdem wir diesen angeschlossen hatten und Spannung ein und ausgeben konnten, konnten wir mit dem ersten Sensor beginnen.

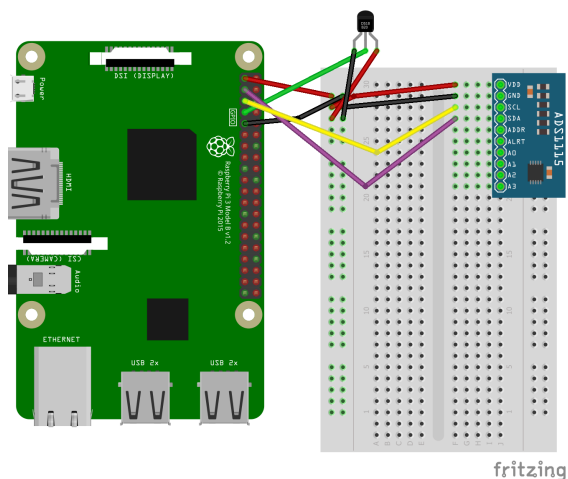


Abbildung 6: ADS1115 Schaltung

2.3.3 pH Meter V2 SEN0161-V2

Um den pH-Sensor, der 37.31€ kostet, zu kalibrieren, haben wir zsm. mit Dipl.-Ing. Matthias

Birkicht gearbeitet. Er hat uns die Nernst-Gleichung gezeigt, mit der wir ausrechnen konnten, wie viele mV pro pH man theoretisch in der Probe messen sollte im optimalsten Zustand.

$$S_{\text{theor.}} = \frac{LN(10) \cdot R \cdot T}{F}$$

Wobei

$$F = 96485 \text{ As} \cdot \text{mol}^{-1}; R = 8.31451 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1};$$

$$T = 273.15 + t[^\circ\text{C}]$$

Da wir mit dem Temperatur Sensor eine Temperatur von 20°C messen konnten errechnet sich also

$$\frac{LN(10) \cdot 8.3145 \cdot (273.15 + 20^\circ\text{C})}{96.485} = 58.17 \frac{\text{mV}}{\text{pH}}$$

Nun mussten wir den praktischen Wert bestimmen, wir hatten die Probe in einen pH 4 Citratpuffer und pH 7.02 di-Natriumhydrogenphosphat Puffer gepackt um die Spannung in diesen zu messen, wobei die pH 7.02 sich daraus begründen, dass der pH des Puffers je nach Temperatur abweicht. Bei pH 7.02 haben wir 1533,125 mV gemessen und bei pH 4 haben wir 2049,125 mV gemessen. Wir konnten die vom Hersteller gegebene Formel für die Steigung(m) dann von

$$\frac{(7\text{pH} - 4\text{pH})}{\frac{(pH7(\text{mV}) - 1500\text{mV})}{3V} - \frac{(pH4\text{mV} - 1500\text{mV})}{3V}} \text{ auf}$$

$$\frac{(7.02\text{pH} - 4\text{pH})}{\frac{(pH(\text{mV}) - 1500\text{mV})}{3V} - \frac{(pH4(\text{mV}) - 1500\text{mV})}{3V}} \text{ umwandeln. Wobei}$$

3V die Referenzspannung (Output Spannung des Sensors) ist und 1500 mV sich daraus begründen, dass man annimmt, dass eine Hälfte des Spannungsspektrums für den pH unter 7 ist und eine für den pH über 7. Wenn man in die Formel nun unsere Messwerte einsetzt erhält man

$$\frac{(7.02\text{pH} - 4\text{pH})}{\frac{(1533.125\text{mV} - 1500\text{mV})}{3V} - \frac{(2049.125 - 1500\text{mV})}{3V}} = - \frac{151}{8600} \frac{\text{pH}}{\text{mV}}$$

Mit dem Kehrwert aus diesem können wir herausfinden, wie viel mV/pH wir praktisch haben.

$$- \frac{8600}{151} \frac{\text{mV}}{\text{pH}} \approx - 56.95 \frac{\text{mV}}{\text{pH}} \text{ was nahezu dem}$$

optimalen Wert entspricht. Daraufhin berechnen wir anhand von

$$7.02 = m \cdot \frac{(pH7(mV) - 1500mV)}{3V}$$

$$7.02 = - \frac{151}{8600} \frac{pH}{mV} \cdot \frac{(1533.125 - 1500)}{3} \approx 7.21$$

den Y-Achsenabschnitt (Y_s). Mit diesen beiden zusammen kann man dann durch

$$m \cdot (U[mV] - 1500mV) \div 3V + Y_s$$

Den pH-Wert berechnen, den die Sonde misst. Die Sonde hat einen Fehlerwert ± 0.1 bei 25°C .

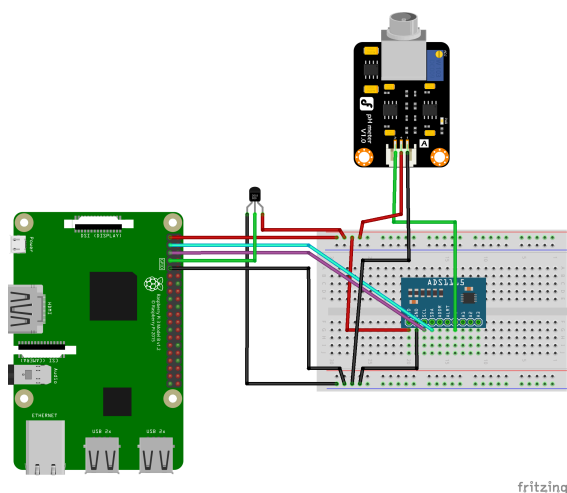


Abbildung 7: Schaltung des pH Sensoren (alle anderen analogen Sensoren folgen demselben Prinzip)

2.3.4 Dissolved Oxygen

Bevor wir den Dissolved Oxygen Sensor, der 159.65€ kostet, anschließen konnten, mussten wir ihn erstmals vorbereiten. In die Kappe des Sensors muss eine 0.5 mol/L Lösung NaOH. Um diese vorzubereiten, haben wir bereits verfügbare 1 mol/L zur Hälfte mit VE Wasser verdünnt. Diese Lösung haben wir dann in die Kappe des Sensors bis zum Gewinde der Kappe gefüllt. Dabei war es sehr wichtig, Handschuhe zu tragen und es auf eine Unterlage zu stellen, da die Lösung beim Zudrehen aus der Kappe geht. Daraufhin haben wir den Sensor mithilfe von 3 Methoden Kalibriert, Wasser mit 0% gesättigtem Sauerstoff, Wasser mit 100% gesättigtem Sauerstoff und Wasserdampfgesättigte Luft. Desweiteren haben wir die Wasserdampfgesättigte Luft bei verschiedenen

Temperaturen gemessen um eine Temperaturkompensation Gerade ziehen zu können. Um die 100% gesättigte Lösung zu bilden haben wir VE Wasser benutzt da es durch die entsalzte Natur die Berechnung des DO vereinfacht. Dieses haben wir in einen kleinen verschließbaren Gefäß, die Kappe verschlossen und für 30 Sekunden geschüttelt, um den Sauerstoff mechanisch in das Wasser zu übertragen. Daraufhin den Deckel aufmachen, um neuen Sauerstoff ins Gefäß zu lassen und dann wiederholt man den Prozess, nach 10 mal sollte man eine 100% gesättigte Lösung haben. Dabei ist es wichtig zu bedenken, dass durch die mechanische Zugabe auch Sauerstoffübersättigung entstehen kann.

Daher haben wir auch Wasserdampfgesättigte Luft benutzt indem wir in einem kleinen verschließbaren Behälter einen angefeuchteten Schwamm gelegt haben und die Sonde abgedichtet darüber. Durch die Abdichtung kann der Wasserdampf nicht entkommen und wird in die Sonde mit dem Sauerstoff gelangen. Dasselbe abgedichtete Gefäß konnten wir dann als Aufbewahrungs- und Transportgefäß benutzen.

Um die 0% gesättigte Lösung zu bilden haben wir im VE Wasser Na_2SO_3 aufgelöst bis nur noch ein Bodensatz zurückblieb, dies zeigt uns das die Lösung nun mit Na_2SO_3 gesättigt ist und das all der freigelöste Sauerstoff abgebunden wurde.

Indem wir dann die drei Lösungen alle bei 21.5°C messen, können wir eine einfache Gerade bilden, die die gemessene Spannung zu einer Sauerstoffsättigung zuordnen kann. Um dies zu tun, mussten wir erst mithilfe der Formel von Braun und Krause

$$DO_s = \exp \left[-139.34411 + \frac{1.575701 \times 10^5}{T} - \frac{6.642308 \times 10^7}{T^2} + \frac{1.243800 \times 10^{10}}{T^3} - \frac{8.621949 \times 10^{11}}{T^4} \right]$$

die Sättigung in % zu mg/L konvertieren indem wir einfach die Temperatur [in Kelvin] in die Formel

einsetzen. Damit wissen wir, wie viel mg/L in der Lösung sind bei 100% Sättigung.

Für die Temperaturkompensations Gerade haben wir den Wasserdampf bei sinkenden Temperaturen gemessen.

Daraufhin hatten wir mit Hilfe von LibreOffice Calc 2 einfach geraden gezogen, um eine grobe Temperaturkompensations- und Sauerstoff in % Gerade zu erhalten.

Temperatur	Voltage
16.125°C	1.61025V
15.125°C	1.570875V
14.125°C	1.5305V
13.125°C	1.4937500000000001 V
12.125°C	1.434375V
11.125°C	1.376875V

Tabelle I: Temperatur zu gemessener Spannung

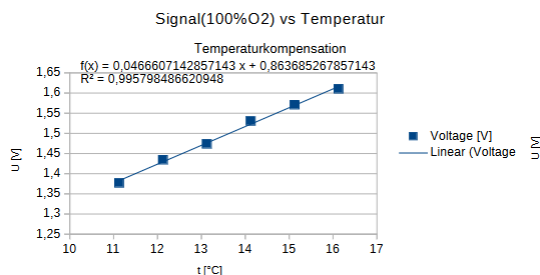


Abbildung 8: Signal Unterschied bei Verschiedenen Temperaturen

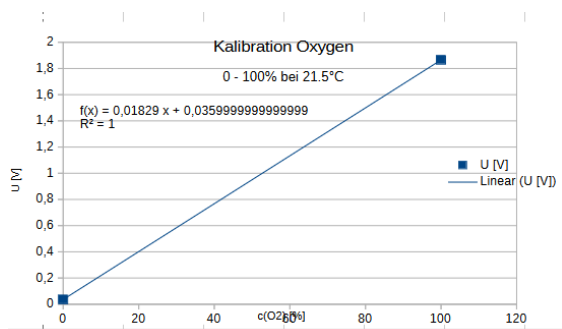


Abbildung 9: Spannung in abhängigkeit von Sauerstoff in %

2.3.5 TDS und Turbidity

Um den TDS und Turbidity Sensor zu kalibrieren, haben wir zusammen mit der BEG gearbeitet, die uns Kalibrationslösungen und bereits kalibrierte Sensoren gestellt hatten. Von da aus mussten wir nur einen Kalibrationsfaktor ausrechnen für die Standard Formel. Für den TDS war es z.B. die Formel

$$\text{TempKomp} = 1 + 0.02 \cdot (t[^\circ\text{C}] - 25)$$

Für die Temperaturkompensation. Wobei dies dann in die Formel

$$\text{compV} = \frac{U[V]}{\text{TempKomp}}$$

Für die Kompensierte Spannung eingesetzt wird.

Schließlich errechnet sich dann der TDS wert indem man

$$\text{TDS} = \text{Kalifaktor} \cdot (133.42 \cdot \text{compV}^3 - 255.86 \cdot \text{compV}^2 + 857.39 \cdot \text{compV}) \cdot 0.5$$

Wobei Kalifaktor der TDS einer bekannten Lösung durch die in dieser gemessenen Spannung ist.

2.3.6 Das User Interface

Das originale Interface von ARWAQUTE war lediglich ein LCD, das zwischen 3 Farben gewechselt hatte und die Daten per CSV gespeichert hatte.

Wir haben uns stattdessen entschieden, die Daten in einem json zu speichern und das User Interface auf einer Website laufen zu lassen. Aufgrund des Zeitstresses benötigten wir die Hilfe von Max Mendgen für das Programmieren der Website, die vom Pi gestartet wird, sobald er hochfährt. Dort kann man per Knopf die Messungen starten. Die gesammelten Messdaten werden dann in Graphen per JavaScript eingetragen. Man kann dann per Knopfdruck wechseln zwischen Graphen die alle Punkte seit der ersten Messung anzeigen ($t[s]=0$) und solchen die nur Messungen in einem bestimmten Zeitraum anzeigen (t_0 verschiebt sich)

Grund für diese Idee war, dass wir ziemlich schnell realisiert hatten, dass Graphen, die bei der Original-Messung starten, sehr schnell sehr unübersichtlich werden können.

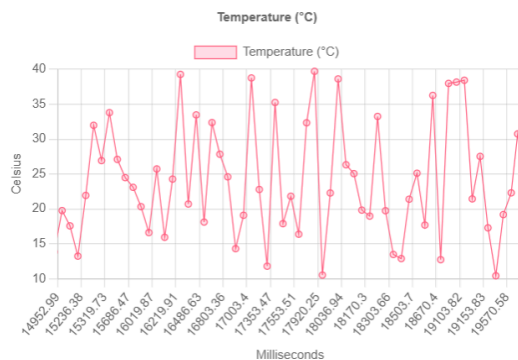


Abbildung 10: Graph der t0 verschiebt (mit zufällig generierten Datensätzen)

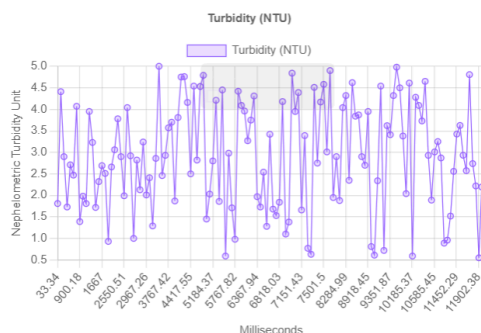


Abbildung 11: t beginnt bei der ersten Messung (mit zufällig generierten Datensätzen)

3. Ergebnis

Unsere Experimente haben uns sehr früh gezeigt, dass kostengünstige Sensoren sowohl Vor- als auch Nachteile haben, trotz Kalibrierung haben die Sensoren standardmäßige Abweichungen, die von nahezu vernachlässigbar zu großen Unterschieden reichen. In Bezug auf unsere originalen Vermutungen hat sich gezeigt dass die Arbeit von “ARWAQUTE” auf Basis von Raspberry Pi’s zu bauen ein großes Hindernis darstellte, da ein Großteil des Codes nur für Arduinos, also auf C++

verfügbar war und nicht auf Python auf welchem Raspberry Pi’s laufen. Des Weiteren hat sich auch bewiesen, dass Wasseruntersuchungen bei weitem nicht so einfach lösbar sind wie das “Ampel-System” von “ARWAQUTE”, in der Theorie hat sich gezeigt, dass mehr Faktoren die Qualität von Wasser beeinflussen als das was wir messen und sich vor allem die Trinkbarkeit aus noch mehr als diesen Faktoren erschließt.

Wir haben es geschafft, die gesamte Messstation tragbar und einfach nutzbar zu machen, indem wir einerseits die ganze Station in eine kleine 33cm × 12cm × 8cm gebaut haben und indem wir die Nutzer die Daten über ein kleines einfach benutzbares Netzwerk aufrufen und sammeln lassen. Damit ermöglichen wir die einfache Datensammlung für Privatpersonen für einen Preis, der vergleichsweise niedrig ist. Trotzdem sammeln wir einen guten Teil von grundlegenden Wasserdaten. Wir haben eine Möglichkeit geschaffen, Open-Source Citizens Research zu betreiben.

Unser Projekt ist hauptsächlich problemlos gelaufen von der Experiment Ebene selbst, von einer Betrachtung der Zeit allerdings lagen wir während des gesamten Projektes in Zeitstress.

Dieses Projekt hat uns klargemacht, was andere Papiere bereits über Citizens Science geschrieben haben, während wir erstmals Probleme hatten mit den Messgeräten umzugehen oder Experimente durchzuführen, hat sich gezeigt, dass wir nach genug schneller Ausbildung die einzelnen Aspekte problemlos durchführen konnten. Mit den Erweiterungen, die wir an der Messstation getätigt haben, sollte es nun noch einfacher sein, andere Messaufnahmen zu tätigen.

Das Projekt ist allerdings bei weitem noch nicht fertig, die Kabel sind noch teils lose und man könnte die Größe der Messstation um ein großes verringern, indem man anstatt einem Breadboard ein HAT für den Pi entwickelt, was wir derzeit tun.

Des Weiteren lässt sich das UI immer weiter verbessern und versimpeln, sodass immer mehr Menschen auch solche mit physischen Einschränkungen die Messstation benutzen können.

Quellen und Literaturverzeichnis:

Bishop, I.J., Warner, S., van Noordwijk, T.C.G.E., Nyoni, F.C., and Loiselle, S. (2020) Citizen science monitoring for sustainable development goal indicator 6.3.2 in England and Zambia. *Sustainability*, 12(24), pp. 1–15.
<https://doi.org/10.3390/su122410271> (26.01.2025)

Fraisl, D., Hager, G., Bedessem, B. *et al.* Citizen science in environmental and ecological sciences. *Nat Rev Methods Primers* **2**, 64 (2022).
<https://doi.org/10.1038/s43586-022-00144-4>
 (26.01.2025)

FWU Institut 2025:
<https://www.leifiphysik.de/waermelehre/ausdehnung-bei-erwaermung/grundwissen/anomalie-des-wassers> (23.01.2025, 9 Uhr)

FWU Institut 2025 (2):
<https://www.leifichemie.de/saeuren-und-basen/saeure-base-gleichgewicht/grundwissen/ph-wert-berechnung> (23.01.2025, 17 Uhr)

GlavierFresh 2024:
<https://glacierfreshfilter.com/de/blogs/news/understanding-turbidity-in-drinking-water-why-it-matters-and-how-to-reduce-it?srltid=AfmBOoofyhSBHgyn5OLm75oEWP2ZNqzPgdeEeHNARCqCwo6aiiuR9OiOI> (23.01.2025, 21 Uhr)

Hach 2025:
<https://at.hach.com/parameters/dissolved-oxygen>
 (25.01.2025, 13 Uhr)

Kosmala, M., Wiggins, A., Swanson, A. and Simmons, B. (2016) Assessing data quality in citizen science, *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(10), pp. 551–560
<https://doi.org/10.1002/fee.1436> (26.01.2025)

OsmoFresh 2025:
<https://www.osmofresh.de/service/blog/Was-misst-ein-TDS-Messgeraet> (23.01.2025, 20 Uhr)

OpenedTech 2024:
<https://openedtech.ellak.gr/robotics2024/arwaqute-metrissi-elegchos-paragonton-piotitas-nerou-me-arduino/> (26.01.2025)

Kolade Olatunde, Susan Kane Patton, Laura Cameron, Tony Stankus, Plangkat James Milaham. Factors Affecting the Quality of Drinking Water in the United States of America: A Ten-Year Systematic Review. *American Journal of Water Resources*. Vol. 10, No. 1, 2022, pp 24-34.
<https://pubs.sciepub.com/ajwr/10/1/4> (26.01.2025)

Pellerin, Brian A., Beth A. Stauffer, Dwane A. Young, Daniel J. Sullivan, Suzanne B. Bricker, Mark R. Walbridge, Gerard A. Clyde, Jr., and Denice M. Shaw, 2016. Emerging Tools for Continuous Nutrient Monitoring Networks: Sensors Advancing Science and Water Resources Protection. *Journal of the American Water Resources Association* (JAWRA) 52(4): 993–1008.
<https://doi.org/10.1111/1752-1688.12386>
 (26.01.2025)

Rainear, Adam. (2025). Publics and Citizen Science.
http://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-74062-6_40
 (26.01.2025)

SEAWATER Cube:
<https://seawatercubes.de/wassertemperatur-fischwo>

[hl/#:~:text=Die%20g%C3%A4ngigen%20Speisefische%20Wolfsbarsch%20und,C%20sollten%20nicht%20%C3%BCberschritten%20werden.](#)

(23.01.2025, 9 Uhr)

SEBA Hydrometrie GmbH & Co. KG 2019:

<https://www.seba-hydrometrie.com/news/wie-haengt-ec-mit-tds-und-salzgehalt-zusammen> (23.01.2025, 20 Uhr)

Studyflix 2025:

<https://studyflix.de/chemie/aggregatzustand-einfach-erklart-4087> (23.01.2025, 10 Uhr)

Studyflix 2025 (2):

<https://studyflix.de/chemie/ernst-gleichung-1575> (23.01.2025, 23 Uhr)

StudySmarter GmbH

2025:<https://www.studysmarter.de/ausbildung/ausbildung-in-chemie/biologielaborant-ausbildung/wasser-temperatur/> (23.01.2025, 10 Uhr)

Thomei 2023:

<https://www.wasserfilteroase.de/blogs/glossar/nephelometric-turbidity-units?srltid=AfmBOor0ESKv9IybImHgqNjNh0A2lbrctgQqBlwpmNiTTTr03gMrn2Q> (25.01.2025, 19 Uhr)

UBA 2004:

https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/themen/wasser/grundwasser/grundwasserbericht_niedersachsen/grundwasserbeschaffenheit/guteparameter/grundprogramm_des_nlwkn/ph_wert/pH-Wert-137608.html#:~:text=Die%20Trinkwasserverordnung%20sieht%20f%C3%BCr%20den.alkalischen%20Charakter%20einer%20w%C3%A4ssrigen%20L%C3%B6sung (23.01.2025, 16 Uhr)

Ullrich, National Geographic 2024:

<https://education.nationalgeographic.org/resource/citizen-science-article/> (26.01.2025)

Weigelhofer, G. and Pölz, E.-M. (2016) Data quality in citizen

science projects: challenges and solutions. Frontiers in Environmental Science, 4.

<https://doi.org/10.3389/conf.fenvs.2016.01.00011> (26.01.2025)

Wiley Analytical Science 2021:

<https://analyticalscience.wiley.com/content/article-do/ph-und-temperatur-zwei-un-shy-trenn-shy-bare-gr%C3%B6%C3%9Fen> (23.01.2025, 17 Uhr)

Xylem 2024:

<https://www.xylemanalytics.com/de/unternehmen/blog/xylem-analytics-blog/2022/09/kalibrierung-und-justierung-einer-ph-elektrode> (24.01.2025)

Unterstützung:

Wir danken der Unterstützung von Wolfram Bajus, Katja Pertliczek, Matthias Birkicht und Max Mendgen und Daniel Ehlert.

