

## Artikel

# Langfristige Stabilität eines kostengünstigen IoT-Systems zur Überwachung der Wasserqualität in städtischen Flüssen

Manel Naloufi <sup>1,2,\*</sup>, Thiago Abreu <sup>3,\*</sup>, Sami Souihi <sup>3</sup>, Claire Therial <sup>2</sup>, Natália Angelotti de Ponte Rodrigues <sup>2</sup>, Arthur Guillot Le Goff <sup>2</sup> , Mohamed Saad <sup>2</sup>, Brigitte Vinçon-Leite <sup>2</sup> , Philippe Dubois <sup>2</sup>, Marion Delarbre <sup>1</sup>, Paul Kennouche <sup>1</sup> und Françoise S. Lucas <sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> Direction de la Propreté et de l'Eau-Service Technique de l'Eau et de l'Assainissement, 27 Rue du Commandeur, 75014 Paris, Frankreich; paul.kennouche@paris.fr (P.K.)

<sup>2</sup> Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains (Leesu), Université Paris-Est Créteil, École des Ponts ParisTech, 61 Avenue du Général de Gaulle, 94010 Créteil, Frankreich

<sup>3</sup> Labor für Bild-, Signal- und intelligente Systeme (LiSSI), Université Paris-Est Créteil, 122 Rue Paul Armand, 94400 Vitry sur Seine, Frankreich

\* Korrespondenz: manel.naloufi@gmail.com (M.N.); thiago.wanderley-matos-de-abreu@u-pec.fr (T.A.); lucas@u-pec.fr (F.S.L.)

**Zusammenfassung:** Die Überwachung der Wasserqualität in städtischen Flüssen ist für die Bewirtschaftung der Wasserressourcen von entscheidender Bedeutung, da die Verschmutzung durch punktuelle und nicht punktuelle Quellen nach wie vor eine große Herausforderung darstellt. Die herkömmlichen Methoden zur Überwachung der Wasserqualität sind jedoch kostspielig und in Bezug auf Häufigkeit und räumliche Abdeckung begrenzt. Um die Überwachung zu optimieren, wurden Techniken wie die Modellierung vorgeschlagen. Diese Methoden stützen sich auf Netzwerke kostengünstiger Multisonden, die in IoT-Netzwerke integriert sind, um eine kontinuierliche Echtzeitüberwachung mit ausreichender räumlicher Abdeckung zu ermöglichen. Die Datenqualität stellt jedoch nach wie vor eine Herausforderung dar. Hier schlagen wir einen Rahmen vor, um die Zuverlässigkeit und Stabilität von kostengünstigen Sensoren zu überprüfen, wobei wir uns auf die Implementierung von Multiparametersonden konzentrieren, die sechs Sensoren enthalten. Es wurden verschiedene Tests entwickelt, um diese Sensoren zu validieren. Zunächst wurde eine Kalibrierungsprüfung durchgeführt, die eine gute Genauigkeit ergab. Anschließend haben wir den Einfluss der Temperatur analysiert. Dabei zeigte sich, dass für den Leitfähigkeits- und den Sauerstoffsensor eine Temperaturkompensation erforderlich war, und es wurden Korrektorkoeffizienten ermittelt. Die zeitliche Stabilität wurde im Labor und im Feld verifiziert (von 3 Stunden bis 3 Monate), was dazu beitrug, die Häufigkeit der Wartungsarbeiten zu bestimmen. Um die Sensordrift auszugleichen, war eine wöchentliche Kalibrierung und Reinigung erforderlich. In diesem Beitrag wird auch die Machbarkeit der LoRa-Technologie für den Datenabruf in Echtzeit untersucht. Mit den getesteten LoRa-Gateways betrug die Kommunikationsdistanz zum Messgerät jedoch nicht mehr als 200 m. Auf der Grundlage dieser Ergebnisse schlagen wir eine Validierungsmethode vor, um die Leistung der kostengünstigen Sensoren für die Überwachung der Wasserqualität zu überprüfen und zu gewährleisten.

**Schlüsselwörter:** Arduino-Sensor; Stabilität; Wasserqualität; chemische Parameter; städtische Flüsse



**Zitat:** Naloufi, M.; Abreu, T.; Souihi, S.; Therial, C.; Rodrigues, N.A.d.P.; Le Goff, A.G.; Saad, M.; Vinçon-Leite, B.; Dubois, P.; Delarbre, M.; et al. Long-Term Stability of Kostengünstiges IoT-System zur Überwachung der Wasserqualität in städtischen Flüssen. *Wasser* **2024**, *16*, 1708. <https://doi.org/10.3390/w16121708>

Akademischer Redakteur:  
Bommanna Krishnappan

Empfangen: 1. Mai 2024

Überarbeitet: 11. Juni 2024

Angenommen: 12. Juni 2024

Veröffentlicht: 15. Juni 2024



**Copyright:** © 2024 bei den Autoren. Lizenznehmer MDPI, Basel, Schweiz. Dieser Artikel ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der Creative Commons Attribution (CC BY) Lizenz (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) verbreitet wird.

## 1. Einführung

Die Überwachung der Wasserqualität von städtischen Flüssen ist eines der wichtigsten Themen in der Wasserwirtschaft [1]. Die Verschlechterung der Wasserqualität ist jedoch nach wie vor problematisch, was auf undichte Abwasserkanäle, Regenabfluss auf verunreinigten Flächen und die Einleitung ungeklärter Abwässer in Oberflächengewässer bei Regenereignissen zurückzuführen ist [2]. Die räumliche und zeitliche Überwachung der Wasserqualität in Flüssen ist für die Optimierung der Bewirtschaftung von Süßwasserressourcen von entscheidender Bedeutung, da sie wichtige Informationen zur Orientierung der Akteure liefert [3–5]. Für die meisten gesetzlichen Parameter sind jedoch teure und zeitaufwändige Feldmessungen und Laboranalysen erforderlich. Bei der Bewirtschaftung von Badestellen beispielsweise basiert die vorgeschriebene Überwachung der Badegewässer auf der Auszählung kultivierbarer fäkalen Indikatorbakterien gemäß der europäischen Badegewässerrichtlinie 2006/7/EG [6,7]. Ein solcher Überwachungsansatz ist sowohl in Bezug auf die Häufigkeit als auch die räumliche Abdeckung restriktiv, was zu einem schlechten Verständnis der tatsächlichen Wasserqualität in einem bestimmten Gebiet zu einem bestimmten Zeitpunkt führt [3,8].

Eine wirksamere Kontrolle der Wasserqualität sollte sich auf Methoden stützen, die schnell und kostengünstig sind und nur ein Minimum an Probenahmen erfordern, und sie sollte letztendlich Echtzeit-Ergebnisse liefern [8–10]. Darüber hinaus könnten In-situ-Sensorikgeräte in Kombination mit maschinellem Lernen den Beteiligten helfen, mögliche Verunreinigungen in Echtzeit zu erkennen und den Probenahmeaufwand zu optimieren [4,5]. Kostengünstige Strategien sollten sich auf wenige ausgewählte Parameter mit verfügbaren kostengünstigen Sensoren stützen, die als Indikatoren für die Wasserqualität dienen. Wie Zhu et al. [11] feststellten, gibt es keine einheitliche Definition von "kostengünstigen" Sensoren. Die billigsten auf dem Markt erhältlichen Sensoren gelten in der Regel als "preiswert", und die Preisspannen können vom jeweiligen Parameter abhängen [11]. Mehrere physikalisch-chemische Parameter können leicht mit Sensoren an Ort und Stelle gemessen werden. So haben Kannel et al. [12] gezeigt, wie nützlich die Überwachung von Temperatur, pH-Wert, Konzentration von gelöstem Sauerstoff, Leitfähigkeit und Trübung ist, um die räumlichen und zeitlichen Veränderungen der Wasserverschmutzung zu bewerten und Flüsse nach ihrer Wasserqualität zu klassifizieren.

Eine große Anzahl kostengünstiger Sensoren könnte in Netzen mit großem räumlichen Umfang eingesetzt werden (Internet der Dinge, IoT). Jedes einzelne Messgerät kann eine etwas größere Fehlerspanne aufweisen als die Präzision, die mit teuren Geräten erreicht wird. Die Vielzahl der Sensoren sollte dies jedoch durch eine größere Menge an Informationen sowohl in zeitlicher als auch in räumlicher Hinsicht ausgleichen [13]. Die kontinuierliche Entwicklung von IoT-Lösungen auf der Grundlage nicht-proprietärer Methoden in den letzten zehn Jahren ermöglicht eine praktikable Echtzeitmessung der Wasserqualität für ein breites Spektrum von Anwendungen wie die Überwachung von Trinkwasserressourcen und Badestellen [14–16]. Viele Initiativen sind entstanden, und das Interesse der Forschungsgemeinschaft hat im Laufe der Zeit enorm zugenommen [17]. Es wird erwartet, dass die Überwachung der Wasserqualität in Echtzeit durch IoT-Anwendungen dazu beitragen wird, die mit der Logistik verbundenen Kosten zu senken und die Anzahl der überwachten Standorte zu erhöhen. Allerdings muss die Energieautonomie der Überwachungsgeräte, die vor Ort eingesetzt werden, berücksichtigt werden. In der Regel werden die Sensoren durch Batterien oder Solarzellen mit Strom versorgt. Die Daten werden dann entweder per SMS oder per Langstreckentechnologie (LoRa) übertragen. Um energieeffizient zu sein, bietet die Long-Range-Technologie (LoRa) eine interessante Lösung, die sich für Geräte eignet, die über lange Zeiträume hinweg eingesetzt werden [17,18].

Viele Herausforderungen bleiben bestehen und müssen bewältigt werden, wie z.B. die Zuverlässigkeit, die Stabilität und die Wiederholbarkeit der Messung, die Ähnlichkeit der Leistung zwischen den Sensoreinheiten und ihre Interoperabilität, um im Feld eine zuverlässige kontinuierliche Überwachung der Wasserqualität zu realisieren [17]. Daher besteht das allgemeine Ziel dieses Papiers darin, einen Rahmen für die Überprüfung der Zuverlässigkeit und Stabilität der Messwerte vorzuschlagen und die notwendige Wartung von kostengünstigen Sensoren zu ermitteln, um die Qualität der erfassten Daten zu optimieren und die Beteiligten bei der täglichen Bewirtschaftung von Flusswasser zu unterstützen.

In der Tat haben sich nur wenige Studien auf die langfristige Zuverlässigkeit und Lebensfähigkeit der Sensoren konzentriert und waren auf maximal 20–30 Tage beschränkt, obwohl die Flussüberwachung längere Zeiträume erfordert [14,17,19–23]. Daher bestand unser erstes Ziel darin, die Stabilität über einen längeren Zeitraum von 3 Monaten zu analysieren.

Darüber hinaus wurde in früheren Arbeiten auf die Notwendigkeit von Wartungs- und Reinigungsroutinen hingewiesen, um die Ablagerung von Schmutz und Biofouling an den Sensoren zu vermeiden, die die Messung beeinträchtigen würden [24,25]. Es gibt jedoch keinen Best-Practice-Leitfaden für die Kalibrierung und Validierung von kostengünstigen Sensornetzen. Daher bestand unser zweites Ziel darin, einen Rahmen für die Validierung von kostengünstigen Sensoren vorzuschlagen.

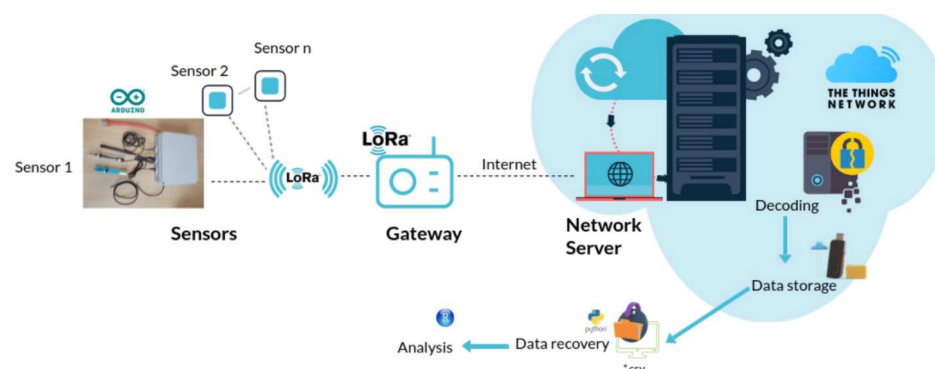
Ein weiterer entscheidender Punkt ist die Berücksichtigung des Datenverlusts aufgrund der begrenzten Kommunikationsdistanz zwischen den Sensoren und dem LoRa-Gateway [18]. Folglich war unser drittes Ziel, zwei LoRa-Gateways zu testen, um die maximale Entfernung zwischen den Geräten und dem Gateway ohne Datenverlust zu bestimmen.

Um diese drei Ziele zu erreichen, haben wir einen kostengünstigen Multiparameter-Prototyp entwickelt, der die Qualität des Oberflächenwassers mithilfe der IoT-Technologie überwachen kann. Mehrere Sensoren wie Temperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit, Trübung und gelöster Sauerstoff wurden in dieses Gerät integriert. Nach der Kalibrierung der einzelnen Sensoren wurden ihre Präzision und Stabilität im Labor mit Referenzlösungen analysiert. Das kostengünstige Messgerät wurde für lange Zeiträume validiert.

Langzeitüberwachung im Feld durch den Vergleich mit hochgenauen Überwachungsplattformen. Um die Möglichkeit des Einsatzes des Prototyps in Netzen zu validieren, wurden zwei Einheiten verglichen und die Leistung der LoRA-Gateways bewertet.

## 2. Materialien und Methoden

Zur Überwachung der Wasserqualität haben wir ein LoRa-basiertes drahtloses Systemnetzwerk implementiert, das ein LoRa-Gateway und ein Netzwerk von kostengünstigen Messgeräten mit Echtzeit-Datenwiederherstellung umfasst (Abbildung 1). Die Arduino-Technologie wurde ausgewählt, um dieses Multiparameter-Sensorgerät zu entwickeln. Für die Ausführung von Befehlen, die Verarbeitung der Daten und die Datenübertragung können zwei Boards verwendet werden: das Arduino UNO R3 auf der Basis des Microchip ATmega328P oder das Arduino Mega 2560 Mikrocontroller-Board auf der Basis des ATmega2560. Letzteres wurde aufgrund seiner Kompatibilität mit einer großen Anzahl von Überwachungsgeräten ausgewählt [26]. Das Arduino-Mega-Board hat 8-mal mehr Speicherplatz als das UNO R3-Board [26,27].



**Abbildung 1.** Synoptische Ansicht des kostengünstigen Systems zur Überwachung der Wasserqualität in Echtzeit.

### 2.1. Prototyp-Design

Jedes Überwachungsgerät (als "Einheit" bezeichnet) enthielt eine externe Batterie (20.000 mAh), 6 analoge oder digitale Sensoren von DFRobot (Shanghai, China) (Temperatur, 2 pH-Werte, Leitfähigkeit, Trübung und gelöster Sauerstoff), ein Micro-SD-Modul/eine Micro-SD-Karte zur Datenspeicherung, ein 16-Bit-ADC-Modul V1.0 zur Erhöhung der Genauigkeit der Leitfähigkeits-, Trübungs- und gelösten Sauerstoffsensoren sowie ein LoRa Shield zur Verbindung mit einem LoRa-Netzwerk [28,29]. Zhu et al. [11] und Camargo et al. [17] verglichen eine Liste preiswerter Wasserqualitätssensoren mit ihren Spezifikationen und einer Zusammenfassung ihrer Leistungsmerkmale. Diese Studien wurden zur Auswahl der Sensoren für unser Gerät herangezogen, um eine Reihe zuverlässiger preiswerter und mittelpreisiger Sensoren zu erhalten [11]. Für die Überwachung von Nährstoffkonzentrationen, wie Stickstoff und Phosphor, gibt es keine wirklich preiswerten Sensoren. Der billigste von Vernier kostet rund 300 EUR [11]. Für den pH-Wert wurden zwei verschiedene Arten von Sensoren in die Messgeräte eingebaut, um ihre Leistung zu vergleichen, die später als "pH-1" und "pH-2" bezeichnet werden. Alle Teile des Systems waren in einem wasserdichten Gehäuse untergebracht. Es wurden analoge Isolatoren verwendet, um Signalinterferenzen zwischen den Sensoren zu vermeiden, mit Ausnahme des pH-Sensors. Der Code, der die Messung aller Parameter in regelmäßigen Abständen ermöglicht, wurde auf das Arduino-Board hochgeladen und ist auf GitHub ([https://github.com/naloufimanuel/low\\_cost\\_sensor.git](https://github.com/naloufimanuel/low_cost_sensor.git)) (Zugriff am 20. März 2024)) mit den Skripten Python (Version 3.8.1) und R (Version 4.1.1) verfügbar.

#### 2.1.1. Kostengünstige Sensoren

Der pH-Sensor, der die Wasserstoffionenaktivität in einer Lösung misst, besteht aus einer pH-Glaselektrode und einer Silber/Silberchlorid-Referenzelektrode [14]. Der pH-1-Sensor (SEN0161-V2, DFRobot, Shanghai, China) war günstiger als der industrielle pH-2-Sensor (SEN0169-V2, DFRobot, Shanghai, China).

Die spezifische Leitfähigkeit spiegelt die Anzahl der im Wasser gelösten Elektrolyte wider [30]. Wir haben den Sensor DFR0300 (DFRobot) ausgewählt, da er der preiswerteste mit Arduino kompatible Sensor ist [11]. Sein Erfassungsbereich ist jedoch möglicherweise besser für Küstenumgebungen geeignet.

als Flüsse (Tabelle 1). Für die Leitfähigkeitsmessungen wird in der Regel Gleichung (1) verwendet, um die Messungen durch Vergleich mit einer Referenzmessung bei 25 °C zu korrigieren:

$$EC_{25} = \frac{EC_T}{1 + a(T - 25)} \quad (1)$$

wobei  $EC_T$  die Leitfähigkeit bei der Temperatur  $T$  (°C),  $EC_{25}$  die Leitfähigkeit bei 25 °C und ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) ein Temperaturkompensationsfaktor ist, der dem prozentualen Anstieg pro Grad entspricht [31].

**Tabelle 1.** Merkmale und Spezifikationen der Arduino-Sensoren.

Parameter	Temperatur [9,32] (°C)	pH-1 [33]	pH-2 [34]	Leitfähigkeit [30] (mS·cm) <sup>-1</sup>	Trübung [35,36] (NTU)	Gelöst Sauerstoff [37,38] (%)
Sensor, DFRobot, Shanghai, China	DS18B20	SEN0161-V2	SEN0169-V2	DFR0300	SEN0189	SEN0237-A
Erfassungsbereich	-10 bis 85	0 bis 14	0 bis 14	0 bis 20	0 bis 1000	0 bis 100
Auflösung	0.010	0.010	0.010	0.001	1.000	0.050
Genauigkeit Messung	±0.5	±0.5	±0.1	±1.0	±3.6	±2.0
Preis (EUR)	8	39	65	70	9	148

Für die Trübungsmessung misst der gewählte Sensor (SEN0189, DFRobot, Shanghai, China) die Lichtdurchlässigkeit und die Streurate, die sich mit der Menge der gesamten suspendierten Feststoffe ändert [36]. Der Sensor verwendet eine Infrarot-LED als Lichtquelle und einen Infrarot-Fototransistor, um die Lichtmenge zu erfassen, die nicht durch das Wasser blockiert wird. Es wird eine Spannungsänderung ermittelt und mit Hilfe der Gleichung (2) in die Messeinheit NTU (Nephelometric Turbidity Unit) in einem Bereich von 1 bis 1000 NTU umgerechnet [35,36]. Der obere Teil des Sensors ist mit einer wärmeschrumpfenden Umhüllung versehen, um ihn wasserdicht zu machen, und der Sensor ist mit einer undurchsichtigen Kunststoffabdeckung gegen externes Licht abgeschirmt [39]:

$$\text{Trübung} = \frac{3.9994 - \text{Spannung}}{0.0008} \quad (2)$$

Für die Messung von gelöstem Sauerstoff (SEN0237-A, DFRobot) wählen wir einen galvanischen Sensor mit einer Fülllösung und einer Membrankappe. Seine Ansprechzeit liegt innerhalb weniger Sekunden. Da die Konzentration des gelösten Sauerstoffs direkt von der Temperatur beeinflusst wird, haben wir eine Temperaturkompensation in unseren Code eingebaut [37,38]. Gleichung (3) wird normalerweise verwendet, um den Temperatureffekt zu berücksichtigen [37]: [https:// wiki. dfrobot. com/ Gravity Analog \\_Dissolved \\_](https://wiki.dfrobot.com/Gravity_Analog_Dissolved_Oxygen_Sensor_SKU_SEN0237)  
Oxygen\_Sensor\_SKU\_SEN0237

$$DO = \frac{\text{volt} + b * T - b * T_{cal}}{\text{volt}_s + b * T - b * T_{cal}} * 100 \quad (3)$$

wobei DO der gelöste Sauerstoff (in Sättigung (%)), volt die bei einer Temperatur  $T$  gemessene Spannung,  $\text{volt}_s$  die dem gesättigten gelösten Sauerstoff entsprechende Spannung, gemessen bei einer Temperatur  $T_{cal}$ , und  $b$  ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) ein Temperaturkompensationsfaktor ist [37].

#### 2.1.2. Referenz-Sensoren

Um die kostengünstigen Sensoren (Arduino-Sensor) zu validieren, verglichen wir ihre Messwerte mit zwei hochwertigen HYDROLAB-Multiparametern der Serie 5 (OTT, Aix-En-Provence, Frankreich), in die vier Sensoren integriert waren (OTT). Für den gelösten Sauerstoff verglichen wir den kostengünstigen Sensor auch mit einem MINIDOT LOGGER Sensor (PME, Vista, CA, USA), der Daten auf einer internen SD-Karte aufzeichnete [40]. Der PME-Sensor misst die Konzentration des gelösten Sauerstoffs im Wasser mithilfe einer Fluoreszenzmethode [40].

## 2.2. Spezifikationen und Preis

Die Tabellen 1 und 2 zeigen die technischen Daten, den Betriebsbereich, die Genauigkeit und den Preis der einzelnen Sensoren. Der Preis der Überwachungsgeräte umfasst die Preise für die sechs Sensoren zuzüglich 159 EUR für den Gesamtpreis der anderen Komponenten (Batterie, microSD-Karte und Lesegerät, ADC-Modul, Gehäuse, Arduino-Karte und Isolatoren) und 93 EUR für die LoRa-Verbindung. Der Gesamtpreis für jedes Überwachungsgerät lag zwischen 285 und 400 EUR. Für die Hydrolab-Multisonden von OTT lag der Preis bei 3050 EUR und der PME-Sensor kostete 1775 EUR.

**Tabelle 2.** Merkmale und Spezifikationen der Hydrolab-Multisonden (OTT) [41].

Parameter	Temperatur (°C)	pH-Wert	Leitfähigkeit (mS·cm) <sup>-1</sup>	Trübung (NTU)
Erfassungsbereich	-5 bis 50	0 bis 14	0 bis 100	0 bis 3000
Auflösung	0.01	0.01	0.0001	0.10
Messgenauigkeit	±0.100	±0.200	±0.001	±1.000
Preis (EUR)		480	380	1540

## 2.3. Reinigung und Kalibrierung

Zur Kalibrierung der einzelnen Sensoren wurden Standardlösungen in verschiedenen Konzentrationen verwendet, mit Ausnahme des Temperatursensors. Die Standardlösungen wurden mit einer Eutech-Multiparametersonde für pH und Leitfähigkeit, dem CellOx® 325-Sensor für den gelösten Sauerstoff und dem 2100P-Trübungsmessgerät (HACH) für die Trübung überprüft. Für den pH-Wert verwendeten wir Standardpufferlösungen (pH 4, 7 und 10) von VWR. Um Verunreinigungen zu entfernen, die zu einer Verringerung der Steilheit und instabilen Messwerten führen, muss der pH-Sensor jeden Monat für einige Stunden in 0,1 mol · L<sup>-1</sup> HCL-Lösung getaucht und anschließend mit entionisiertem Wasser gespült werden. Für die Leitfähigkeit wurden die Standardlösungen aus einer 1-M-Stammlösung von Kaliumchlorid hergestellt. Die Standardlösungen wurden mit deionisiertem Wasser verdünnt, um 0,36 mS · cm<sup>-1</sup> zu erreichen,

0,72 mS · cm<sup>-1</sup> und 1,41 mS · cm<sup>-1</sup>. Für den Trübungssensor wurde ein Formazin-Stamm verwendet Lösung bei 4000 NTU (hergestellt aus gelöstem Hydrazinsulfat und gelöstem Hexamethylentetramin). Die Stammlösung wurde in deionisiertem Wasser auf 0, 20 und 200 NTU verdünnt. Für den Sensor für gelösten Sauerstoff schließlich wurde eine Natriumsulfitlösung für den Nullpunkt verwendet (VWR), und Leitungswasser, das mit einem Sprudler auf Sättigung gehalten wurde, diente als 100%ige Standardlösung. Der Sauerstoffsensor musste vor der Verwendung vorbereitet werden, indem eine Fülllösung in die Membrankappe gegeben wurde, die aus einer 0,5 mol · L<sup>-1</sup> NaOH-Lösung bestand. Die Fülllösung musste jeden Monat gewechselt werden. Anschließend wurde der Sensor bei einer festen Temperatur (zwischen 20 und 25 °C) in dem zu 100 % gesättigten Wasser kalibriert.

Jeder Sensor wurde vor der Kalibrierung sorgfältig mit deionisiertem Wasser gewaschen und abgewischt. Die Kalibrierung erfolgte bei einer festen Temperatur und unter Rühren bei 700 U/min mit einem Magnetrührer. Der Sensor wurde einige Minuten lang in der Standardlösung gehalten, um sich zu stabilisieren; danach konnte der Kalibrierungspunkt festgelegt werden. Jeder Kalibrierpunkt wurde 10 Mal gemessen und die passende Regressionskurve ( $y = cx + d$ ) bestimmt. Für jeden Parameter wurden die Koeffizienten ( $c$  und  $d$ ) zur Korrektur der Messwerte nach der Datenwiederherstellung verwendet. Die Kalibrierung musste einmal pro Woche durchgeführt werden.

## 2.4. LoRa-Gateway

Das LoRa Shield v1.4 von Dragino mit dem SX1276 LoRa Chip, der vollständig mit Arduino-Modellen kompatibel ist, wurde mit dem Arduino Mega 2560 verbunden, der mit einer Frequenz von 868 MHz (Europäische Union) arbeitet und eine externe Antenne enthält [42]. Die LoRa-Module wurden mit einer Bandbreite von 125 kHz, einer Sendeleistung von 14 dBm und einem Spreizfaktor von 12 konfiguriert. Wir haben 2 verschiedene Modelle des LoRa-Gateways getestet, um ihre Leistung in Bezug auf die Reichweite zu vergleichen. Das erste Gateway ist ein Raspberry-Gateway, das aus einem LoRa-Hut für RPi (Raspberry Pi) mit einem SX1276 LoRa-Chip besteht, der mit einem RPi 3 verbunden ist und mit einem Ein-Kanal-Gateway-Programm implementiert wurde [43]. Das zweite Gateway ist das Arduino pro Gateway LoRa Konnektivität. Es erlaubt bis zu 8 LoRa-Kanäle in der 868 Mhz Frequenz



(Semtech-Lösung) und umfasst einen Mikrochip SX1301 mit zwei SX1257 und einer eingebauten UFL-Antenne. Nach Angaben des Herstellers ermöglichen LoRa-Gateways die Verbindung von Geräten innerhalb von mehreren Kilometern [44]. Für die beiden Gateways haben wir die räumliche Abdeckung der Gateways geschätzt, indem wir die Entfernung zwischen dem Endknoten und den Gateways mit Hilfe einer Signalpegelanalyse gemessen haben. Die Übertragungsdistanz wurde im Hinblick auf die Qualität des Signals getestet, indem der Received Signal Strength Indicator (RSSI), das vom Gateway gemessene Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) und das Zeitintervall zwischen dem Empfang von zwei aufeinander folgenden Daten analysiert wurden. RSSI misst die Entfernung zwischen einem Sender und einem Empfänger und SNR quantifiziert die Stärke des Signals im Verhältnis zur Amplitude des Umgebungsrauschens [45,46]. Diese Indikatoren werden üblicherweise für die Schätzung der maximalen Entfernung verwendet [47]. Die Tests wurden in dichten städtischen Wohngebieten (Großraum Paris) durchgeführt, wobei das Gateway an einem festen Standort und das Endgerät an verschiedenen Positionen platziert wurde (Abbildung A9).

### 2.5. Sensor-Validierung

Die Zuverlässigkeit und die Langzeitstabilität der getesteten kostengünstigen Sensoren wurden im Labor und im Feld geprüft. Die Feldtests wurden in Bassin de La Villette (Paris, Frankreich) durchgeführt, wo bereits OTT-Sensoren eingesetzt wurden [48].

#### 2.5.1. Genauigkeit

Die Genauigkeit jedes Sensors wurde nach einer Kalibrierung für 2 Messgeräteeinheiten getestet, um die Linearität und die Wiederholbarkeit jedes Sensors zu bewerten (Norm ISO 21748: 2017 und NF EN 17075 2018) [49]. Die Tests wurden im Labor bei Umgebungstemperatur ( $20,97 \pm 0,12$  °C) unter Rühren bei 700 U/min durchgeführt. Zur Validierung des Temperatursensors wurde die Messung in einem Wasserbad mit einem Temperaturbereich von 5 °C bis 30 °C durchgeführt, wobei die Temperatur alle 8 Minuten um 5 °C erhöht wurde, gefolgt von einer Stabilisierung für 15 Minuten bei der gleichen Temperatur. Für die anderen Sensoren wurden zwischen 2 und 7 Standardlösungen in unterschiedlichen Konzentrationen verwendet. Für jeden Sensor wurden die Messwerte für jede Standardlösung 10 Mal wiederholt (Tabelle 3). Die Wiederholbarkeit wurde durch Berechnung der Standardabweichung der Sensormessungen während der wiederholten Versuche geschätzt. Richtigkeit und Linearität wurden durch den Vergleich der Messwerte mit dem Wert der Standardlösungen (wahrer Wert) bewertet. Eine lineare Regression wurde erstellt, indem die Messwerte des kostengünstigen Sensors gegen die bekannte Konzentration der Standardlösungen aufgetragen wurden. Die Reproduzierbarkeit der Messgeräte wurde durch den Vergleich der Leistung von zwei Messgeräten bewertet. Für jeden Sensor wurden 2 Geräte eine Woche lang parallel mit denselben Standardlösungen getestet. Jeder Parameter mit Ausnahme von Sauerstoff (wegen der hohen Kosten des Sensors) wurde alle 15 Minuten gemessen. Die Temperatur wurde bei etwa 20 °C gehalten, die pH-Sensoren wurden in einer pH-4,22-Lösung platziert, die Leitfähigkeitssensoren in einer 1,42 mS - cm<sup>-1</sup>-Lösung und schließlich die Trübungssensoren in einer 10 NTU-Lösung. Die Reproduzierbarkeit wurde durch Berechnung der Standardabweichung zwischen 2 Einheiten geschätzt.

**Tabelle 3.** Deskriptive Analyse der Sensorkalibrierung für 2 Einheiten.

Parameter	Temperatur (°C)	pH-1	pH-2	Leitfähigkeit (mS - cm) <sup>-1</sup>	Trübung (NTU)	Gelöster Sauerstoff (%)
Anzahl der Maßnahmen (n) Standardlösungen	368 Temperatur von 5 bis 30	30 4, 7 und 10	30	44 4 Normen von 0,22 bis 1,42	77 7 Normen von 0 bis 800	20 0 und 100
Linearität (Einheiten 1-2)	0.999	0.999	0.999	0.998-0.993	0.998	0.999
Steigung der Kurve						
Einheit 1	0.999	0.938	0.959	1.060	0.947	1.038
Einheit 2	0.999	0.950	0.984	1.083	0.916	
Wiederholbarkeit						
Einheit 1	0.01	0.02	0.01	0.02	3.66	1.74
Einheit 2	0.01	0.02	0.01	0.02	3.69	
Reproduzierbarkeit	0.03	0.02	0.01	0.02	3.54	

### 2.5.2. Temperatur-Effekt

Um die Auswirkung der Temperatur auf die Messungen aller Sensoren zu analysieren und die richtigen Parameter für die Kompensation zu ermitteln, wurde mit jedem Sensor alle 15 Minuten unter Rühren bei 700 U/min eine Standardlösung gemessen, die zuvor auf 10 °C abgekühlt worden war, so dass die Lösungen 3 Stunden lang eine Umgebungstemperatur erreichen konnten (von 10 bis 19 °C). Die Standardlösungen waren die folgenden: pH 10,2; Leitfähigkeit 0,72 mS · cm<sup>-1</sup>; Trübung 20 NTU; und gelöster Sauerstoff 100% O<sub>2</sub> gesättigtes Wasser über einen Bubbler. Beim gelösten Sauerstoff wurde auch das Alter der Membrankappe berücksichtigt, indem eine 6 Monate alte und eine neue Membran verwendet wurden. Bei der neuen Membran lag die untersuchte Temperaturschwankung zwischen 14 und 25 °C. Um Schwankungen aufgrund von Temperaturschwankungen von Sensorfehlern zu unterscheiden, wurden die Ergebnisse mit den Messwerten derselben Standardlösungen bei einer festen Temperatur von 20,97 ± 0,12 °C für 3 h verglichen.

### 2.5.3. Zeitliche Stabilität im Labor

Die Prüfung der Stabilität einer Sonde im Labor, wo die Umgebungsbedingungen streng geregelt sind, bietet zuverlässige Prüfbedingungen [17]. Unter den kontrollierten Bedingungen des Labors können die Messwerte der Sonde mit bekannten Standards verglichen werden, um zu überprüfen, ob die Messungen genau und konsistent sind. Die Kurzzeit- und Langzeitstabilität der Sensoren wurde im Labor bei einer konstanten Umgebungstemperatur von 19 ± 2 °C getestet. Zur Bewertung der Kurzzeitstabilität haben wir im April 2022 drei Wiederholungen von 1-Liter-Wasserproben aus dem Créteil-See und dem unteren Marne-Fluss (Pariser Gebiet, Frankreich) entnommen. Die Proben wurden umgerührt, und mit den Sensoren wurden über einen Zeitraum von 3 bis 6 Stunden alle 10 s Messungen vorgenommen. Diese Kurzzeitanalyse wurde unter ständiger Überwachung durchgeführt, um Probleme oder schnelle Schwankungen sofort zu erkennen. Der pH-2 wurde nicht getestet, da er später gekauft wurde.

Die Langzeitstabilität wurde analysiert, indem jeder Sensor in eine Standardlösung (pH: 7; Leitfähigkeit: 0,72 mS · cm<sup>-1</sup>; Trübung: 20 NTU; und gelöster Sauerstoff: 100% O<sub>2</sub> gesättigtes Wasser über einen Bubbler) gelegt wurde. Die Messungen wurden über einen Zeitraum von etwa 3 Monaten alle 3 bis 5 Minuten durchgeführt. Für den gelösten Sauerstoff wurde der PME-Sensor als Referenz verwendet.

### 2.5.4. Zeitliche Stabilität auf dem Feld

Um die Langzeitstabilität der Sensoren im Feld zu testen, installierten wir die kostengünstigen Überwachungsgeräte an zwei 1 km voneinander entfernten Standorten (A und B) am Bassin de la Villette (Region Paris, Frankreich), wie in Abbildung 2 dargestellt. Standort B befindet sich vor der Badestelle von Paris Plage, und Standort A liegt flussaufwärts von Standort B, so dass die Verschmutzung an der Badestelle vorhergesehen werden kann. Die Stadt Paris führt jedes Jahr im Sommer (Juni bis September) Analysen durch, um die mikrobiologische Qualität in der Nähe von Standort B zu überwachen. Im Jahr 2022 zeigten die Ergebnisse eine gute mikrobiologische Qualität mit einer durchschnittlichen Konzentration von *Escherichia coli* und intestinalen Enterokokken von 101 ± 78 MPN/100 mL bzw. 44 ± 50 MPN/100 mL. Was die gemessenen physikalisch-chemischen Parameter betrifft, so lag die Temperatur bei 21,27 ± 2,83 °C, die Leitfähigkeit bei 0,65 ± 0,03 mS · cm<sup>-1</sup> und die Trübung bei 7,32 ± 2,61 NTU. Diese beiden ausgewählten Standorte sind Teil eines Forschungsprojekts, bei dem seit 2020 kontinuierlich hochpräzise OTT-Multiparametersonden eingesetzt werden. Dieser lange Einsatz wurde regelmäßig überprüft und gewartet, um zuverlässige Daten zu liefern. OTT-Multiparameter wurden als Referenz verwendet. Die Messungen wurden am Standort A von Anfang September 2022 bis Anfang Januar 2023 und dann von Mai 2023 bis Juni 2023 und am Standort B von Anfang September 2022 bis Ende November 2022 in situ durchgeführt. Am Standort B misst die OTT-Sonde nur Temperatur und Leitfähigkeit. Gelegentlich kam es zu Datenverlusten aufgrund von Gerätefehlfunktionen oder Installationsproblemen vor Ort. Die installierten Low-Cost-Geräte wurden wöchentlich gewechselt, um die Sensoren zu reinigen und ihre Kalibrierung zu überprüfen. Zu Beginn wurden Reinigung und Kalibrierung direkt vor Ort am selben Gerät durchgeführt. Aufgrund der Dauer und der Komplexität des Prozesses ab dem 15. Oktober 2022 wurde die Methode jedoch dahingehend geändert, dass jede Woche zwischen zwei Geräten gewechselt wurde. Die Sensoren des Geräts Nr. 2 wurden gereinigt, kalibriert und für eine Woche stabilisiert.

einige Stunden im Labor, bevor das Gerät Nr. 1 im Feld ausgetauscht wird, und umgekehrt. Bei diesen Stabilitätstests wurde auch das Messintervall optimiert.



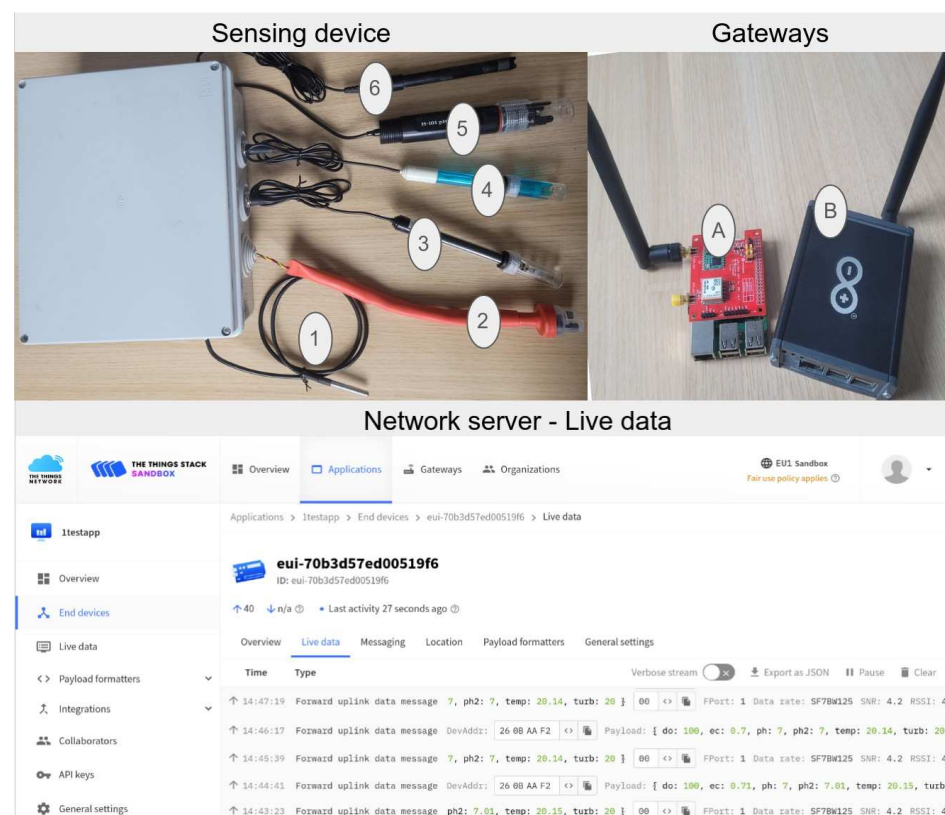
- OTT MS5 sensor (Temperature, Conductivity, Turbidity, pH)
- Arduino sensor (Temperature, Conductivity, Turbidity, pH)

- OTT DS5 sensor (Temperature, Conductivity)
- Arduino sensor (Temperature, Conductivity, Turbidity, pH, Dissolved oxygen)

**Abbildung 2.** Aufstellungsorte (A, B) und von den einzelnen Sensortypen gemessene Parameter (Quelle: Google Maps).

### 3. Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 3 zeigt ein kostengünstiges Messgerät, wenn es vollständig montiert ist.



**Abbildung 3.** An dem Feldexperiment beteiligte Hardwarekomponenten: 1: Temperatur, 2: Trübung, 3: Leitfähigkeit, 4: pH-1, 5: pH-2, 6: gelöster Sauerstoff, A: LoRa HAT-Gateway, B: LoRa Arduino Pro-Gateway.

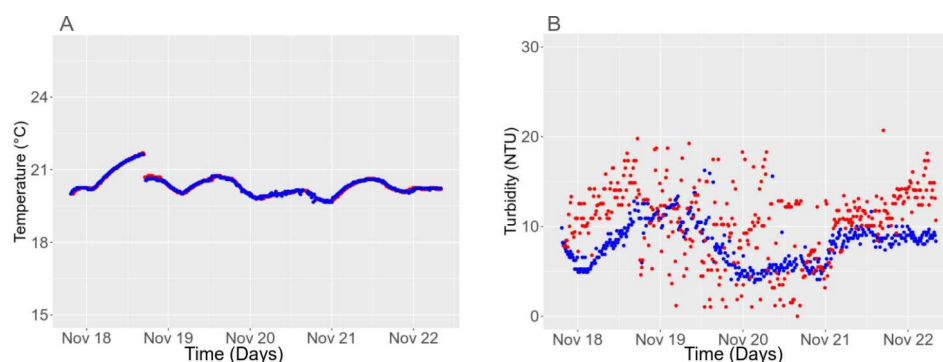


### 3.1. Genauigkeit der Sensoren

Nach der Kalibrierung wurde die Genauigkeit der einzelnen Sensoren anhand der Linearität und Wiederholbarkeit bewertet (Tabelle 3). Die Korrelation zwischen den gemessenen Werten und den erwarteten Werten der Standardlösungen zeigte eine gute Linearität mit einem signifikanten  $r_h > 0,99$  ( $p < 0,01$ ) für alle Sensoren (Abbildung A1). Die Steigungen lagen zwischen 0,92 und 1,08, was auf eine gute Präzision der Messung im Vergleich zum wahren Wert hinweist (Tabelle 3). Jeder Sensor beider Geräte wies eine hohe Wiederholbarkeit mit geringen Standardabweichungen zwischen den wiederholten Messungen auf, wobei die Werte für Temperatur-, pH- und Leitfähigkeitssensoren zwischen 0,01 und 0,02 lagen (Tabelle 3). Die Sensoren für Trübung und gelösten Sauerstoff zeigten eine geringere Genauigkeit mit einer höheren Standardabweichung zwischen den wiederholten Messungen. Die Reproduzierbarkeit zwischen den Einheiten war für alle Sensoren mit Ausnahme des Trübungssensors zufriedenstellend, da die Messungen der beiden Messgeräte gut übereinstimmten, wie die niedrigen Standardabweichungswerte zeigen. In einer kürzlich erschienenen Übersichtsarbeit von Zhu et al. [11] wurden die Leistungsindikatoren mehrerer kostengünstiger Sensoren zusammengestellt, darunter die in unserer Studie ausgewählten Sensoren SEN0169, DFR0300 und SEN0189 [35,39,50–52]. Zhu et al. [11] stellten fest, dass die Informationen heterogen und in Bezug auf Genauigkeit und Linearität nur schwer vergleichbar waren, und dass die Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit in den meisten Fällen nicht geschätzt wurde.

### 3.2. Reproduzierbarkeit der Sensoren

Um zu überprüfen, ob es einen Unterschied in der Genauigkeit verschiedener Einheiten desselben Sensortyps gibt, wurde ein einwöchiger Versuch mit zwei Einheiten jedes Sensors in denselben Standardlösungen durchgeführt (Abbildungen 4 und A5). Die Temperaturmessungen der beiden Geräte stimmten nahezu perfekt überein. Der durchschnittliche Unterschied zwischen den beiden Geräten betrug nur  $0,07\text{ }^{\circ}\text{C}$ , mit einer signifikanten Korrelation von Spearman (Abbildung 4A,  $r = 0,98$ ,  $p < 0,01$ ,  $n = 434$ ). Die Reproduzierbarkeit zwischen den beiden Leitfähigkeitssensoren war recht gut, mit einer mittleren Abweichung von  $0,04\text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ , einem niedrigen Variationskoeffizienten von 2,83 % für Gerät 1 und 2,14 % für Gerät 2 und einer geringen, aber signifikanten Korrelation (Abbildung 4B,  $r = 0,30$ ,  $p < 0,01$ ,  $n = 434$ ).



**Abbildung 4.** Vergleich von zwei gleichzeitig in der gleichen Lösung platzierten Gerätesensoren. In blau Einheit 1 und in rot Einheit 2. (A) Temperatur, (B) Trübung.

Der pH-1-Sensor brauchte ein paar Stunden, um seinen Messwert zu stabilisieren, und das pH-2-Meter brauchte einen Tag (Abbildung A5A,B). Nach der Stabilisierung war die mittlere Abweichung zwischen den beiden Einheiten für beide Sensoren gering (pH-1: 0,09 und pH-2: 0,02), mit einem niedrigen Variationskoeffizienten für pH-1 von 0,47 % für Einheit 1 und 1,71 % für Einheit 2 und für pH-2 0,23 % für Einheit 1 und 0,47 % für Einheit 2.

Beim Trübungssensor unterschieden sich die beiden Einheiten um durchschnittlich 3,91 NTU (Überwachung einer 10 NTU-Lösung, Abbildung 4B). Die Korrelation war signifikant, aber schwach ( $r = 0,32$ ,  $p < 0,01$ ,  $n = 434$ ). Abbildung 4B zeigt, dass die beiden Geräte im Laufe der Zeit den gleichen Trend aufwiesen, allerdings mit einer größeren Streuung für das zweite Gerät (Variationskoeffizient 29,81 % für Gerät 1 und 38,06 % für Gerät 2). Die Reproduzierbarkeit des Sensors scheint eher schlecht zu sein. Dies könnte auf die unterschiedliche Leistung der Infrarot-LED und des Fototransistors im Inneren der Sensoren zurückzuführen sein [11].

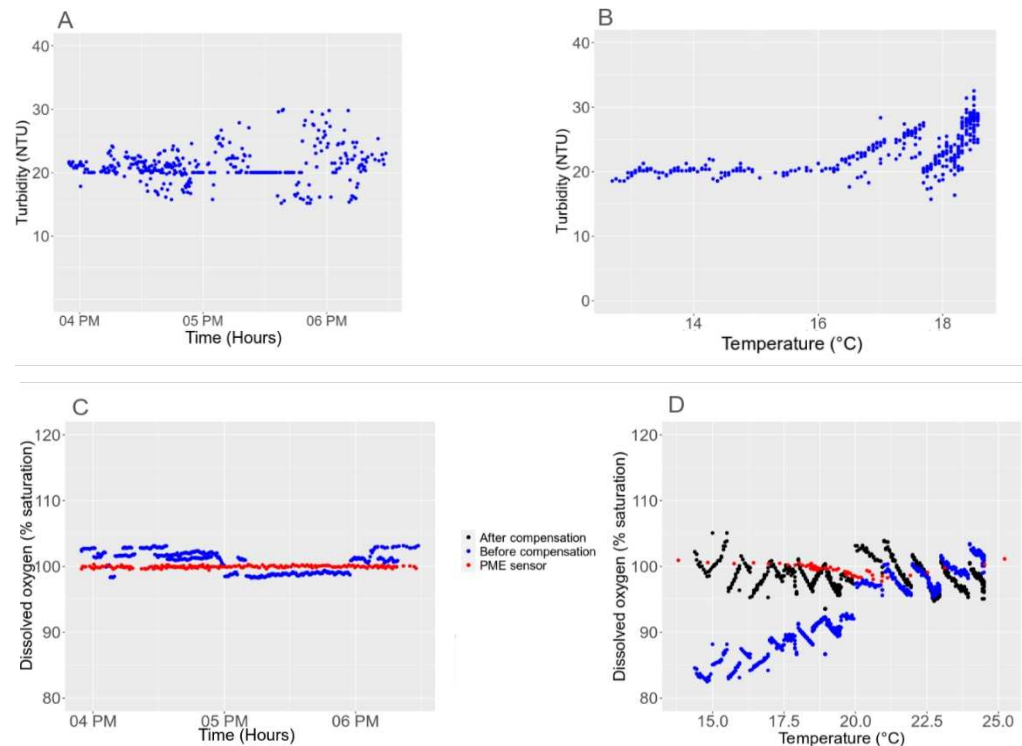
### 3.3. Sensibilität für die Umwelt

Kostengünstige Sensoren reagieren in der Regel empfindlich auf die Umgebungsbedingungen und benötigen Nachrüstungsmaßnahmen wie Kompensationsgleichungen, wasserdichte Gehäuse oder Beschichtungen [11]. So ist beispielsweise bekannt, dass die Wassertemperatur die Messung einiger Parameter und die Empfindlichkeit gegenüber dem Sensorstrom beeinflusst [53,54]. Wir analysierten den Einfluss der Temperatur, indem wir 3-stündige Messreihen unter steigenden Temperaturbedingungen mit Messungen bei fester Umgebungstemperatur verglichen. Unter festen Temperaturbedingungen war die zeitliche Schwankung der Messung bei allen Sensoren gering, was auf eine gute Stabilität der Messung hindeutet. Eine Kompensation des Temperatureffekts war bei den beiden pH-Messgeräten und dem Trübungssensor nicht erforderlich. Die Variationskoeffizienten der stabilen Temperaturreihe für die pH-1- und pH-2-Messgeräte betrugen 0,45 % bzw. 0,22 % und für den Trübungssensor 12,76 %. Unter schwankenden Temperaturbedingungen waren die Variationskoeffizienten höher (0,52 % und 0,47 % für pH-Meter und 14,38 % für den Trübungssensor). Diese geringfügige Schwankung, die durch die Abbildungen A2A,B und 5A,B bestätigt wird, ist eher auf zufällige Schwankungen zurückzuführen, die im Laufe der Zeit beobachtet wurden.

Bei den Leitfähigkeits- und Sauerstoffsensoren war eine deutliche Abweichung der Messung bei wechselnder Temperatur (3,09 % und 5,88 %) im Vergleich zu den Messungen bei fester Temperatur (1,60 % und 0,63 %) zu verzeichnen (Abbildungen A2C,D und 5C,D). Dies zeigt, dass eine Kompensation des Temperatureffekts erforderlich war. Die Kompensationskoeffizienten wurden durch Anpassung einer linearen Modellkurve an die Daten bestimmt. In der Literatur werden häufig mehrere Werte für den Koeffizienten "a" (Gleichung (1)) genannt. Hayashi [53] gab beispielsweise einen durchschnittlichen a-Wert von  $0,0187\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$  an (Minimum-Maximum:  $0,0175\text{--}0,0198\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ), der mit dem von Clesceri und Lenore [55] empfohlenen Wert von  $0,019\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$  übereinstimmt. Auf der Grundlage der EC-Temperatur-Beziehung ermittelten wir einen Kompensationsfaktor von  $0,0265\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ , der mit dem von Keller et al. [56] berichteten Wert von  $0,025\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$  vergleichbar ist. Nach der Kompensation der gemessenen Werte mit dem Koeffizienten  $0,0265\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$  wies der Variationskoeffizient einen niedrigeren Wert (1,19 %) auf, der dem bei einer festen Temperatur erhaltenen Variationskoeffizienten nahe kam. Der Koeffizient  $0,0265$  ergab eine bessere Anpassung (Abbildung A2D) als der vom Hersteller empfohlene Faktor  $0,0185$  [30].

Beim Sensor für gelösten Sauerstoff zeigte sich ein Einfluss der Temperatur auf die Messwerte (Abbildung 5C und D). Dieses Ergebnis ist nicht überraschend, da die Sättigung von Sauerstoff in Wasser von der Temperatur abhängt und sich die Durchlässigkeit der Sensormembran ändert [38,57]. Durch Anpassung von Gleichung (3) an die ansteigende Temperaturreihe wurde ein Faktor "b" von  $14,48\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$  ermittelt und für die Temperaturkompensation des Sensorsignals verwendet. Nach der Kompensation verringerte sich der Variationskoeffizient von 5,88 % auf 1,78 %, was näher an dem Variationskoeffizienten von 0,63 % liegt, der für die Referenzanalyse bei einer festen Temperatur ermittelt wurde (Abbildung 5D). Außerdem sollte die Kappenmembran mindestens alle 6 Monate ausgetauscht werden, da der Variationskoeffizient bei einer neuen Membran 1,78 % betrug, während er bei einer 6 Monate lang verwendeten Membran bei 7 % lag (Abbildung A4).

Andere externe Faktoren können den Sensor beeinträchtigen und irreversible Schäden verursachen, die seine Lebensdauer verkürzen. Wir haben getestet, ob die Batterie das Gehäuse des Sensors überhitzt und ob dies empfindliche Komponenten auf dem Arduino-Board beeinträchtigen könnte. Der Hersteller gibt an, dass Arduino-Boards zwischen  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  und  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$  betrieben werden sollten [58]. Während der dreimonatigen Temperaturüberwachung im Labor blieben die Temperatur in der Box ( $19,97 \pm 1,77\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) und die Wassertemperatur ( $19,15 \pm 1,91\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) konstant. Dies deutet darauf hin, dass die Batterie bei Umgebungstemperatur die wasserdichte Box nicht überhitzte.



**Abbildung 5.** Auswirkungen der Temperatur auf die Trübung und den gelösten Sauerstoff. (A–C) Analyse bei fester Temperatur,

(B) Trübungsmessung bei verschiedenen Temperaturen, (D) Gelöster Sauerstoff vor der Kompensation in blau, nach der Kompensation in schwarz und der PME-Sensor in rot.

### 3.4. Zeitliche Stabilität im Labor

Nach der Kalibrierung wurde mit allen Sensoren eine Kurz- und Langzeitstabilitätsanalyse durchgeführt. Diese Überprüfung wurde bei den kostengünstigen Wasserqualitätssensoren nur selten durchgeführt [11].

#### 3.4.1. Kurzfristige Stabilität

Verschiedene Oberflächenwasserproben wurden 3 bis 6 Stunden lang bei Raumtemperatur überwacht. Die Messwerte zeigten eine relativ zufriedenstellende zeitliche Stabilität mit durchschnittlichen Standardabweichungen, die sich nicht signifikant von den bei der Kalibrierung ermittelten Werten unterschieden, außer bei der Temperatur (t-Test,  $n = 3$ ,  $p > 0,05$ ) (Tabelle 4). In verschiedenen Studien wurde die Stabilität von DFRobot-Sensoren unter Verwendung von Standardlösungen überprüft, allerdings nur für einige Minuten bis mehrere Stunden [24,51,59,60] (und Atlas Scientific [61]). Generell scheint die In-situ-Wassermessung mit kostengünstigen Sensoren vielversprechend zu sein, mit relativ zufriedenstellender zeitlicher Stabilität für alle Parameter (Temperatur [59–61], pH-Wert [60,61], Trübung [39,59], Leitfähigkeit [51,59–61] und gelöste Sauerstoff [61]).

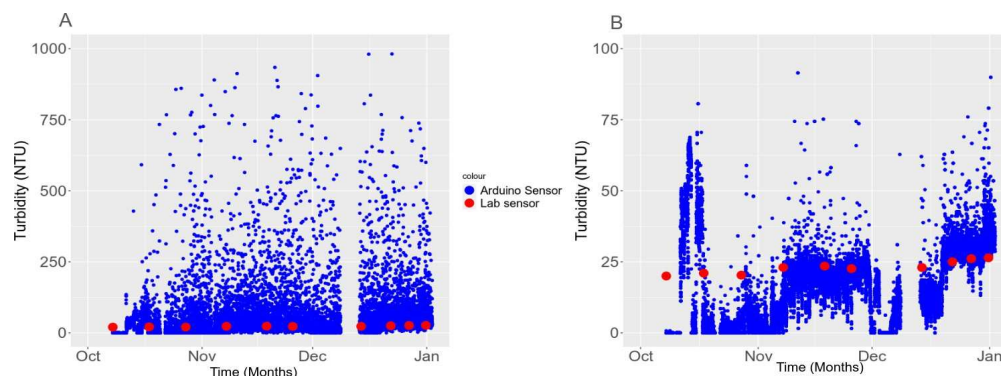
**Tabelle 4.** Kurzzeitanalyse der Sensoren (Wiederholbarkeit).

Parameter	pH-1	pH-2	Temperatur	Leitfähigkeit (mS · cm ) <sup>-1</sup>	Trübung (NTU)	Gelöster Sauerstoff (%) (°C)			
						Arduino-Sensor	PME-Sensor		
Durchschnitt			0.78	0.04	0.03	0.04	4.68	2.33	0.31
Min-Max			0.38-1.01	0.02-0.08	0.02-0.06	0.02-0.08	3.89-5.46	1.55-3.71	0.16-0.59

#### 3.4.2. Erkennung und Beseitigung von Ausreißern bei Langzeitreihen

Die Langzeitstabilität wurde überprüft, indem jeder Sensor 3 Monate lang in eine Standardlösung gelegt wurde. Der Trübungssensor wies eine große Streuung auf, die eine Entzerrung erforderte (Abbildung 6A). Die Messung der 20-NTU-Standardlösung ergab nämlich Werte zwischen 0 und 1000 NTU. Das Filtern von Rauschen ist ein üblicher Vorverarbeitungsschritt von Echtzeit

Datensätze, und es wurden zahlreiche Methoden zur Rauschunterdrückung eingesetzt, um Ausreißer zu erkennen und zu entfernen [62,63]. Es wurde eine Reihe von Filtermethoden getestet, um die optimalste zu ermitteln: Interquartilsbereich, dichte-basierte Methoden K-means, DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) Clustering, Kombination von DBSCAN mit Local Outlier Factor, Mean-Shift und das ARIMA-Modell (Autoregressive Integrated Moving Average) mit dem Medianfilteransatz [62,64–67].



**Abbildung 6.** Langfristige Trübungsanalyse. Die blauen Punkte entsprechen den Messungen der Sensoren und die roten Punkte den Messungen des Labortrübungsmessers. (A) Rohdaten, und (B) nach Entfernung von Ausreißern durch ARIMA mit einem Medianfilter (Breite 5).

Mit den ersten fünf Methoden wurden hauptsächlich extreme Ausreißer entfernt, die 2,69 % bis 9,84 % der Daten ausmachten. Das ARIMA-Modell, das für die Datenbereinigung von nicht-stationären Zeitreihen verwendet werden kann [64,67], schien für die Bereinigung dieses Trübungsdatensatzes am besten geeignet zu sein (Abbildung 6B). Mit einem gleitenden Fenster von 3, 5 und 8 Punkten wurden 18,84 %, 26,77 % bzw. 37,12 % der Daten als Ausreißer identifiziert. In Anbetracht der Datendichte und des Trends schien das optimale Fenster 5 zu sein, aber dieser Parameter ist datenabhängig [63]. Die Datensätze zur Leitfähigkeit und zum gelösten Sauerstoff mussten nicht umfassend bereinigt werden, da weniger als 0,01 % bzw. 0,001 % der Daten mit dem ARIMA-Ansatz entfernt wurden. Zeitreihenmethoden sind robust, und effiziente Datenbereinigungstools können einen dynamischen Datensatz innerhalb eines soliden theoretischen Rahmens verarbeiten und Ausreißer mit unterschiedlichen Eigenschaften erkennen [62,68]. Da der Bereinigungsprozess auf einer minimalen Veränderung der Originaldaten beruhen sollte [68], wurden für jeden Datensatz der verschiedenen Sensoren verschiedene Parameter getestet und beibehalten.

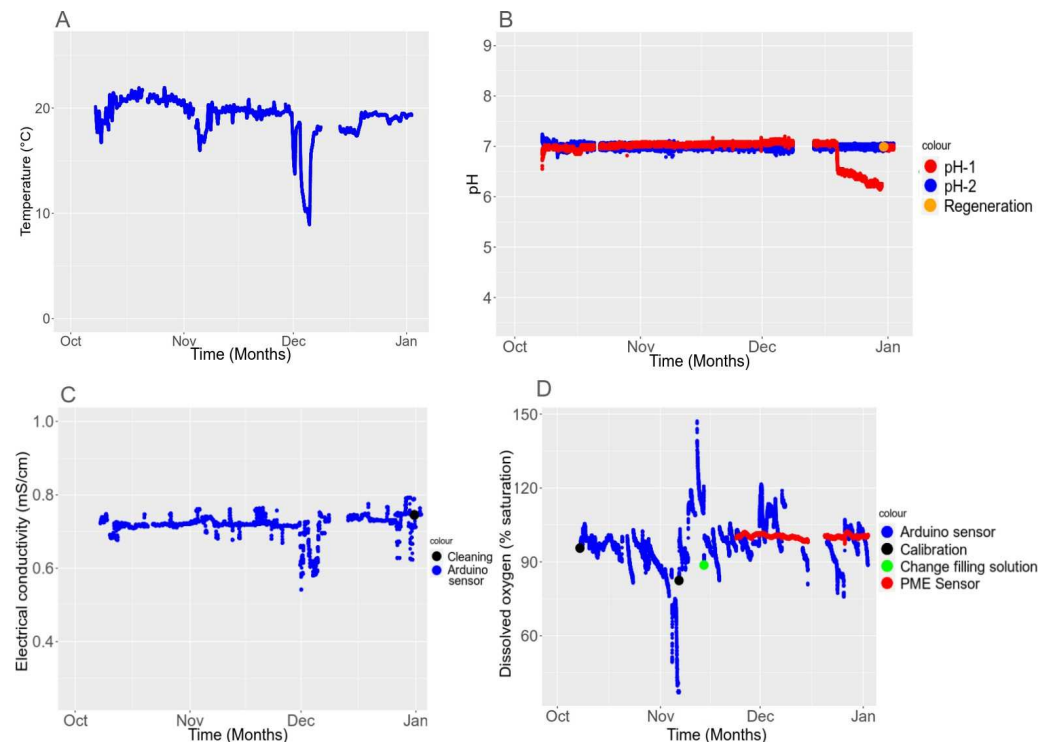
### 3.4.3. Langfristige Stabilität

Nach der Bereinigung der Datensätze wurde die Langzeitstabilität anhand der Standardabweichung geschätzt. Angesichts der Präzisionswerte des Herstellers für jeden Sensor konnten die berechneten Standardabweichungswerte als angemessen betrachtet werden (Tabellen 1 und 5). Die Langzeitmessungen blieben für die meisten Sensoren recht stabil, mit Ausnahme von Trübung und gelöstem Sauerstoff, die größere Schwankungen aufwiesen (Abbildungen 6B und 7). Es konnte festgestellt werden, dass der Temperatursensor zwei Klimatisierungsvorfälle im Labor Anfang November und Anfang Dezember korrekt gemessen hat (Abbildung 7A).

Abbildung 7B zeigt, dass beide pH-Meter ziemlich stabil waren (Standardabweichungen von 0,04). Nach 3 Monaten driftete das pH-1-Messgerät jedoch um 1,0 pH-Einheiten ab (Abbildung 7B). Dies war auf die Verschmutzung der Elektrode zurückzuführen, die durch Eintauchen des Sensors in eine 0,1 M HCl-Lösung für mindestens 8 h bis maximal 24 h entfernt wurde [33]. Nach der Regeneration Ende Dezember zeigte das pH-1-Meter wieder einen stabilen Wert an (Abbildung 7B). Das pH-2-Messgerät ist aufgrund seiner Ring-PTFE-Membran, die gegen Verstopfung resistent ist, besser für die langfristige Online-Detektion geeignet [34].

**Tabelle 5.** Stabilitätsanalyse der Sensoren: Standardabweichung (\* ohne fehlende Werte während der Sensorregeneration, \*\* mit einer ARIMA-Methode unter Verwendung eines Medianfilters bereinigte Werte).

Parameter	Temperatur (°C)	nH.1 *	nH.2	Leitfähigkeit (mS · cm) <sup>−1</sup>	Trübung (NTU)	Trübung ** (NTU)	Gelöster Sauerstoff (%) Arduino-SensorPME-Sensor
Standardabweichung	1.91	0.04	0.04	0.03	64.85	13.23	12.42 0.73



**Abbildung 7.** Langzeitstabilität von Sensoren, die Standardlösungen ablesen. (A) Temperatur, (B) pH-Wert, (C) Leitfähigkeitsmessung, bereinigt mit einem ARIMA-Modell und Medianfilter (Breite 11), und (D) Messung des gelösten Sauerstoffs, bereinigt mit einem ARIMA-Modell und Medianfilter (Breite von 5).

Beim Leitfähigkeitssensor waren nur geringe Schwankungen zu beobachten (Abbildung 7C). Anfang Dezember kam es aufgrund eines plötzlichen Rückgangs der Labortemperatur auf 11 °C zu einem starken Rückgang des Messwerts (Abbildung 7C). Die Kompensationsgleichung war nicht ausreichend, um diese plötzliche Temperaturschwankung auszugleichen. Möglicherweise lag es an einer Desynchronisation zwischen der Veränderung der Wassertemperatur und der Wärmeänderung der optischen Komponenten [69]. Bei schnellen Temperaturschwankungen ist besondere Vorsicht geboten, da die Ablesung dann nicht mehr ganz zuverlässig ist. Schließlich musste der Sensor am Ende des 3-monatigen Zeitraums gereinigt werden, um eine stabile Überwachung wiederherzustellen.

Beim Sauerstoffsensor sank der Sauerstoffanteil nach einem Monat stabiler Messungen von  $95,00 \pm 4,37$  % auf 36,87 % (Abbildung 7D). Eine neue Kalibrierung half nur einige Tage lang, den Wert zu stabilisieren, bis die Messungen auf 154,93 % anstiegen. Ein Wechsel der Fülllösung ist tatsächlich jeden Monat erforderlich. Beim Trübungssensor schließlich bleibt die langfristige Standardabweichung mit 13,23 NTU recht hoch, obwohl die Datenbereinigung die Situation erheblich verbessert hat (Abbildung 6B). Diese hohe Variabilität deutet auf eine gewisse Instabilität des Sensors hin. In der Tat wurde in der Studie von Trevathan et al. [39] für denselben Sensor mit Werten unter 100 NTU ebenfalls eine geringe Zuverlässigkeit und Genauigkeit festgestellt. Der Leistungsunterschied zwischen der Infrarot-LED und dem Fototransistor dieses Geräts wirkt sich wahrscheinlich auf die Nachweisgrenze aus, wodurch die Sensoren besser für die Überwachung von Gewässern mit hoher Trübung geeignet sind [11,24].



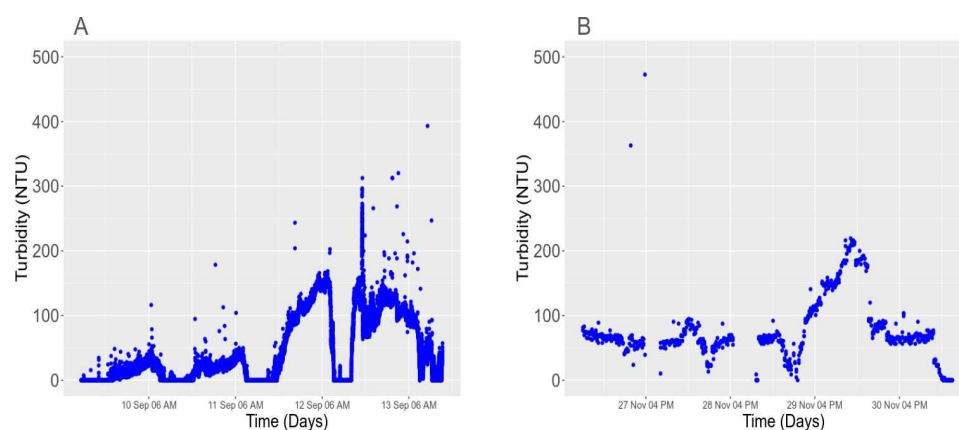
Insgesamt zeigten die Laborversuche, dass die Messungen kurz- und langfristig relativ stabil waren. Die Messwerte stimmten zwischen zwei Einheiten desselben Sensors überein, mit Ausnahme der Trübung, die stark schwankte und nicht zuverlässig war. Was die Wartung der Sensoren betrifft, so müssen der pH-1 und der Sensor für gelösten Sauerstoff monatlich gewartet werden. Zusätzlich zum Sauerstoffsensor sollte die Membran zweimal pro Jahr gewechselt werden. Beim Leitfähigkeitssensor schließlich ist bei starken Temperaturschwankungen volle Aufmerksamkeit geboten. Die Langlebigkeit der Sensoren wurde nicht überprüft; in den Datenblättern der Hersteller wird jedoch in der Regel eine Lebensdauer von  $> 6$  Monaten angegeben [11].

### 3.5. In-Situ-Validierung

Die Genauigkeit und Stabilität der Low-Cost-Sensoren wurde durch einen Vergleich mit High-End-Sonden an zwei Standorten im Bassin de la Villette (Paris) geschätzt, die bereits mit OTT-Multiparametersonden ausgestattet waren [70]. Bei der Feldüberwachung wurden auch Bedenken hinsichtlich der Interferenzen von Umweltparametern (wie Sonnenlicht und Temperaturschwankungen) mit dem Messsignal der Low-Cost-Sensoren geäußert, insbesondere mit dem Trübungssensor [39].

#### 3.5.1. Lichtinterferenz mit dem Trübungssensor

Die Infrarotstrahlung der Umgebung störte die Erkennung der Infrarot-LED des Sensors durch den Infrarot-Fototransistor. Dies führte zu einer täglichen Oszillation der Trübungsmesswerte mit einer Spitze am späten Nachmittag und Abend (Abbildung 8A). Trevathan et al. [39] stellten mit demselben Sensor auch tagsüber einen gewissen Grad an Infrarot-Interferenz mit der Umgebung fest. Um Lichtinterferenzen durch Außenlicht zu vermeiden, sollte der Sensor durch eine Abdeckung, einen undurchsichtigen Kasten oder einen Schlauch abgeschirmt werden, wobei der Boden offen sein sollte, damit das Wasser frei zirkulieren kann. Die Hälfte der Unterseite des Sensors mit der Infrarot-LED und dem Infrarot-Fototransistor befindet sich nicht in der undurchsichtigen Box. So kann das Wasser zwischen den beiden Enden zirkulieren, ohne die Ergebnisse zu beeinträchtigen. Wir haben dieses Problem der Lichtinterferenz teilweise gelöst, indem wir den Sensor mit einer undurchsichtigen Schale abgeschirmt haben, die mit einem Gewicht über dem in das Wasser getauchten Sensor gehalten wurde (Abbildung 8B). Dennoch gab es immer noch einige Abweichungen (Abbildung 8B), die wahrscheinlich auf die inhärente Instabilität dieses Sensors und auf das indirekt gebrochene Licht zurückzuführen sind, das in das Wasser eindringt [39].



**Abbildung 8.** Auswirkung des Umgebungslichts auf den Messwert des Trübungssensors. (A) Vor der Beschattung und (B) nach der Schattierung.

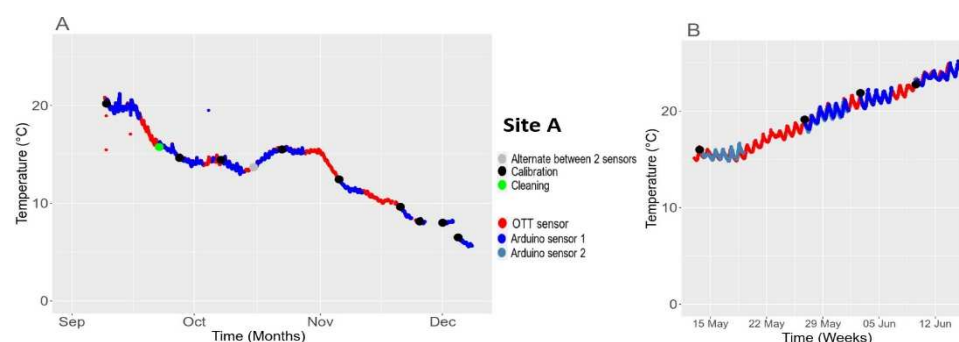
#### 3.5.2. Zeitliche Stabilität auf dem Feld

Die Kalibrierung mit Standardlösungen ist zwar entscheidend für die Verbesserung der Genauigkeit von Sensoren, reicht aber nicht aus. Es ist auch unerlässlich, die mit kostengünstigen Sensoren erzielten Ergebnisse mit denen von Referenzgeräten, z. B. hochauflösenden Sensoren, zu vergleichen, um ihre Gültigkeit sicherzustellen [17].

Um zuverlässige Daten zu erhalten, sollte die Häufigkeit der Datenerfassung als Kompromiss zwischen Rauschminimierung und Zeitauflösung gewählt werden. In der ersten Woche der Überwachung in La Villette war das Zeitintervall von 10 Sekunden zu kurz und erzeugte verrauschte Zeit

Serie (Abbildung A6). Später half eine Anordnung von drei Messungen mit 10-s-Intervallen alle 20 Minuten bei der Optimierung der Datenqualität für den restlichen Überwachungszeitraum (Abbildung A6). Die mittlere Standardabweichung zwischen den drei Messungen war für den Temperatursensor ( $0,010 \pm 0,004$  °C), die beiden pH-Meter ( $0,028 \pm 0,012$  für pH-1 und  $0,010 \pm 0,007$  für pH-2) und für den Leitfähigkeitssensor ( $0,004 \pm 0,001$  mS · cm<sup>-1</sup>) gering. Die Differenz zwischen den Wiederholungsmessungen des Trübungssensors war jedoch hoch ( $42,4 \pm 43,9$  NTU), was auf eine geringe Wiederholbarkeit hinweist.

Wie bereits im Labor beobachtet, waren die beiden Einheiten des Temperatursensors sehr zuverlässig und genau. Die Messwerte des Arduino-Sensors waren an beiden Standorten (A und B) ähnlich wie die Messwerte des OTT-Sensors (Abbildungen 9 und A8A). In ähnlicher Weise erzielten Méndez-Barroso et al. [61] sehr gute Leistungsergebnisse für den Temperatursensor DS18B20.



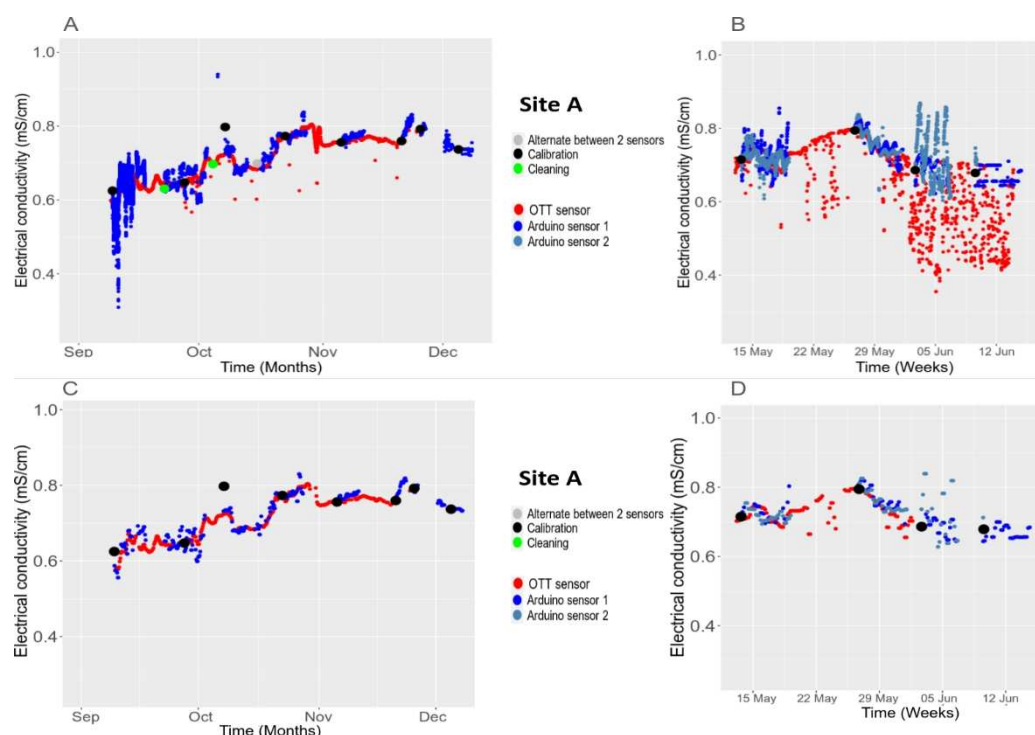
**Abbildung 9.** Temperaturanalyse am Standort A am Bassin de La Villette. Die Werte der OTT-Sensoren sind in rot dargestellt, die der Arduino-Sensoren in blau. Schwarze Punkte zeigen an, dass der Sensor kalibriert wurde, grüne Punkte, dass er gereinigt wurde, und graue Punkte, dass der Sensor ausgetauscht wurde. Der Austausch erfolgte im wöchentlichen Wechsel zwischen den beiden Einheiten desselben Sensors. (A) Von Anfang September 2022 bis Anfang Januar 2023, und (B) von Mai bis Juni 2023.

Die Feldkampagnen bestätigten auch, dass der pH-1-Sensor zwar zuverlässig genug war, um eine Überwachung zu ermöglichen, aber weniger genau und stabil als das pH-2-Meter (Abbildung A6). Die Standardabweichung für das pH-1-Meter betrug 0,14 (Einheit 1) und 0,33 (Einheit 2), während die Abweichung für das pH-2-Meter mit 0,10 bzw. 0,22 für jede Einheit etwas geringer war. Der OTT-Sensor war mit einer Standardabweichung von 0,09 am zuverlässigsten. Demetillo et al. [71] ermittelten in einem zweiwöchigen Test auch einen durchschnittlichen Fehler von 0,18 für die wissenschaftlichen Sensoren von Atlas (die etwas teurer sind als der pH-1-Sensor). Dies zeigt, dass es notwendig ist, das richtige Gleichgewicht zwischen den Kosten und der Genauigkeit des Sensors zu finden, was von seinem Verwendungszweck abhängt.

Die Arduino-Leitfähigkeitssensoren zeigten im Vergleich zu den OTT-Sensoren an beiden Standorten einen ähnlichen Trend (Abbildungen 10 und A8B), obwohl im Mai und Juni einige Messfehler aufgrund von Verschmutzung zu beobachten waren. Im Frühjahr und Sommer ist eine regelmäßige Wartung aufgrund von Biofouling erforderlich, wie sowohl bei den Arduino- als auch bei den OTT-Sensoren zu erkennen ist (Abbildung 10B). Die Nachbearbeitung der Daten (Mittelwertbildung über 4 Stunden und Entfernung von Ausreißern mit dem ARIMA-Modell) trug dazu bei, Zeitreihen von ausreichender Qualität zu erhalten. Insgesamt stimmten die von den Arduino-Sensoren erhaltenen Daten gut mit denen der OTT-Sensoren überein, was darauf hindeutet, dass die kostengünstigen Sensoren effektiv brauchbare Daten liefern konnten. Bei der Einrichtung eines IoT mit kostengünstigen Sensoren sollte jedoch bedacht werden, dass die Reproduzierbarkeit der beiden Einheiten der Arduino-Leitfähigkeitssensoren manchmal gering war (Standardabweichung von  $0,17$  mS·cm<sup>-1</sup> bzw.  $0,02$  mS·cm<sup>-1</sup>). Es sollte nicht vergessen werden, dass dieser Sensor eine geringe Genauigkeit aufweist (Werkzertifikat), da er eher für die Überwachung der Wasserqualität in der Marikultur geeignet ist [30]. Einige andere Sensoren sind genauer und besser für Süßwasser geeignet, allerdings sind sie dreimal so teuer. Der Sensor SEN0451 von DFRobot beispielsweise weist eine Genauigkeit von  $0,1$  mS·cm<sup>-1</sup> auf [11,17,72].

Was den Trübungssensor betrifft, so waren die Messwerte aufgrund der Instabilität des Sensors und der Lichtinterferenz stark verrauscht (Abbildung A7). Hacker et al. [23] testeten einen Monat lang denselben Trübungssensor und stellten ebenfalls eine Instabilität bei den Messungen fest. Wie Hong et al. [19] feststellten, schwimmt der Sensor aufgrund des zu kurzen Kabels an der Oberfläche, was zu Lichtinterferenzen führt. Die Verschmutzung, die durch den allmählichen Anstieg der NTU-Werte (Abbildung A7B) angezeigt wurde, machte eine regelmäßige Wartung erforderlich.

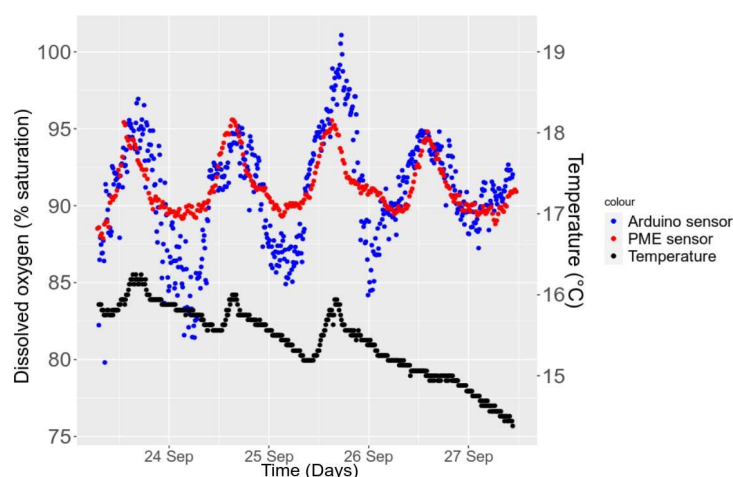
Schließlich wurde der gelöste Sauerstoff über einige Tage sowohl mit dem Arduino-Sensor als auch mit dem PME-Sensor am Standort B gemessen (Abbildung 11). Die beiden Sensoren zeigten ähnliche Trends, obwohl die Abweichung beim Arduino-Sensor etwas größer war als beim PME-Sensor (3,56 % bzw. 1,80 %). Huan et al. [18] entwarfen einen kostengünstigen Sensor für gelösten Sauerstoff, der einen durchschnittlichen Fehler von 2,47 % aufwies. Mit diesem Sensor beobachteten sie auch tägliche Schwankungen wie wir, mit Spitzen am Nachmittag, wenn die Temperatur anstieg. Um nachzuweisen, dass kostengünstige Sensoren vor Ort ordnungsgemäß funktionieren, und um ihre Genauigkeit und Zuverlässigkeit zu ermitteln, wird ein Langzeiteinsatz im Feld empfohlen [17]. Der kostengünstige Temperatursensor war sehr zuverlässig, während die Sensoren für pH, Leitfähigkeit und gelösten Sauerstoff relativ zufriedenstellende Ergebnisse lieferten. Mit der Zeit traten jedoch kleine Messfehler auf. Dieses Phänomen war bei den Arduino-Sensoren stärker ausgeprägt als bei den OTT-Sensoren. Auch andere Sensoren von DFRobot oder Atlas Scientific zeigten eine gute Stabilität und Wirksamkeit bei geringen Messfehlern [17,18,71]. In Anbetracht der Kosten der in unserer Studie getesteten Sensoren und ihrer relativ geringen Fehlermarge wurde ihre Verwendung für kontinuierliche Messungen im Feld validiert, vorausgesetzt, sie werden regelmäßig gewartet, um die Zuverlässigkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Die von uns erzielten Ergebnisse zeigen, dass eine wöchentliche Reinigung und Kalibrierung der Arduino-Sensoren für einige Parameter erforderlich ist. Die mit der wöchentlichen Wartung verbundenen Arbeitskosten sind schwer zu beziffern, da sie von einer Vielzahl von Faktoren abhängen, wie z. B. der Installationszeit, der Anzahl der Sensoren und auch den Standorten.



**Abbildung 10.** Leitfähigkeitsmessung am Standort A am Bassin de la Villette. Die Werte der OTT-Sensoren sind in rot dargestellt, die der Arduino-Sensoren in blau. Schwarze Punkte zeigen an, dass der Sensor kalibriert wurde, grüne Punkte, dass er gereinigt wurde, und graue Punkte, dass das Gerät ausgetauscht wurde. Der Austausch erfolgte im wöchentlichen Wechsel zwischen den beiden Einheiten desselben Sensors. (A) Von Anfang September 2022 bis Anfang Januar 2023, (B) von Mai bis Juni 2023, und (C,D) Daten aus (A,B), gemittelt über 4 Stunden und bereinigt durch ARIMA.

Wir empfehlen, die Sensoren nach jeder Kalibrierung einige Stunden in der Standardlösung stabilisieren zu lassen, bevor sie im Feld installiert werden. Schließlich scheint der Trübungssensor nicht für die kontinuierliche Überwachung von Süßwasser geeignet zu sein. Unter Umweltbedingungen wird der Trübungssensor schnell durch einen Biofilm verschmutzt, und das kleinste Teilchen oder Element, das hindurchgeht, wie z. B. ein Blatt, kann eine Veränderung der Messwerte verursachen. Tre-vathon et al. [39] stellten ebenfalls einen schnellen negativen Einfluss der Verschmutzung (weniger als 48 Stunden) auf die Signalübertragung fest. Zhu et al. [11] zeigten, dass selbst bei anderen Marken (TSD-10 und TSW-10 von Amphenol) die Reproduzierbarkeit bei diesen preisgünstigen Trübungssensoren eher schlecht ist, da sie alle auf demselben Prinzip beruhen. Der Trübungssensor eignet sich möglicherweise besser für die Erkennung von bestimmten Ereignissen mit sehr hohen Trübungswerten, wie z. B. Abwasser [35,39]. Die Fehlerquote nahm mit zunehmender Trübung ab [11]. Diese Rate war bei Trübungswerten über 100 NTU höher [35,73].

Auf der Grundlage dieser Messgeräteleistung schlagen wir einen Rahmen vor, um die Zuverlässigkeit und Stabilität zu überprüfen und die erforderlichen Wartungsmessintervalle für jeden der Sensoren zu ermitteln (Abbildung 12). Dieser Rahmen kann auf alle Arten von Sensoren verallgemeinert werden, die nicht in dieser Studie vorgestellt wurden, so dass sie vor der Installation und Datenverarbeitung überprüft werden können. Eine detailliertere Übersicht über den Rahmen ist in Abbildung A10 dargestellt.



**Abbildung 11.** Messungen des gelösten Sauerstoffs am Standort B im Bassin de la Villette. Die Werte des PME-Sensors sind in rot, die der Arduino-Sensoren in blau und die der Arduino-Temperatursensoren in schwarz dargestellt.

### 3.6. LoRa Gateway Leistung

Long-Range-Wide-Area-Netzwerke (LoRaWANs) wurden kürzlich als vielversprechende Technologie mit geringem Stromverbrauch für verschiedene IoT-Anwendungen vorgestellt, darunter auch Netzwerke zur Überwachung der Wasserqualität [13,74]. Wir haben die Leistung von zwei verschiedenen LoRa-Gateways (ein LoRa Arduino Pro-Gateway und ein LoRa HAT-Gateway) hinsichtlich ihrer Fähigkeit, Daten vom Endknotengerät abzurufen und sie ohne Datenverfälschung und -verlust an den Server zu senden, analysiert. Beide Gateways wurden zunächst in einem dichten Stadtgebiet (Campus von Vitry, Frankreich) getestet. Die maximale Entfernung, über die der Knoten Daten senden konnte, betrug 200 m für das LoRa Arduino Pro-Gateway und 170 m für das LoRa HAT-Gateway, was weit unter der vom Hersteller für das Arduino-Gateway angegebenen möglichen Entfernung liegt (Abbildung 13).

Sendra et al. [75] ermittelten in ähnlicher Weise eine maximale Entfernung von 150 m mit dem gleichen LoRa HAT-Gateway, das wir verwendeten. Interferenzen und Pfadverluste können durch bauliche Hindernisse wie Glas, metallische Oberflächen oder Wände sowie durch die Interferenz anderer elektronischer Komponenten auftreten [47,75,76]. Infolgedessen wird die Signalausbreitung behindert, was zu einer Verschlechterung des SNR und einer Verringerung der RSSI-Werte mit zunehmender Entfernung führt. Nach 100 m beobachteten wir einen raschen Rückgang der Signalqualität (RSSI-Werte) beider Gateways in der Zone mit den meisten Hindernissen. In der Zone mit weniger Hindernissen blieb die Qualität zwischen 100 und 200 m relativ unverändert. Unter 100 m zeigte das LoRa HAT-Gateway eine bessere Leistung als das Arduino-Gateway, während es zwischen 100 m und 200 m genau umgekehrt war.

100 und 200 m (Abbildung 13). Unter Verwendung eines Gateways, das die Module sx1278 (433 MHz) und ESP8266 kombiniert, fanden Zourmand et al. [76] ebenfalls heraus, dass die Signalqualität oberhalb von 120 m vom Gateway abnimmt, was durch den negativen SNR (unterhalb des Rauschbodens) angezeigt wird.

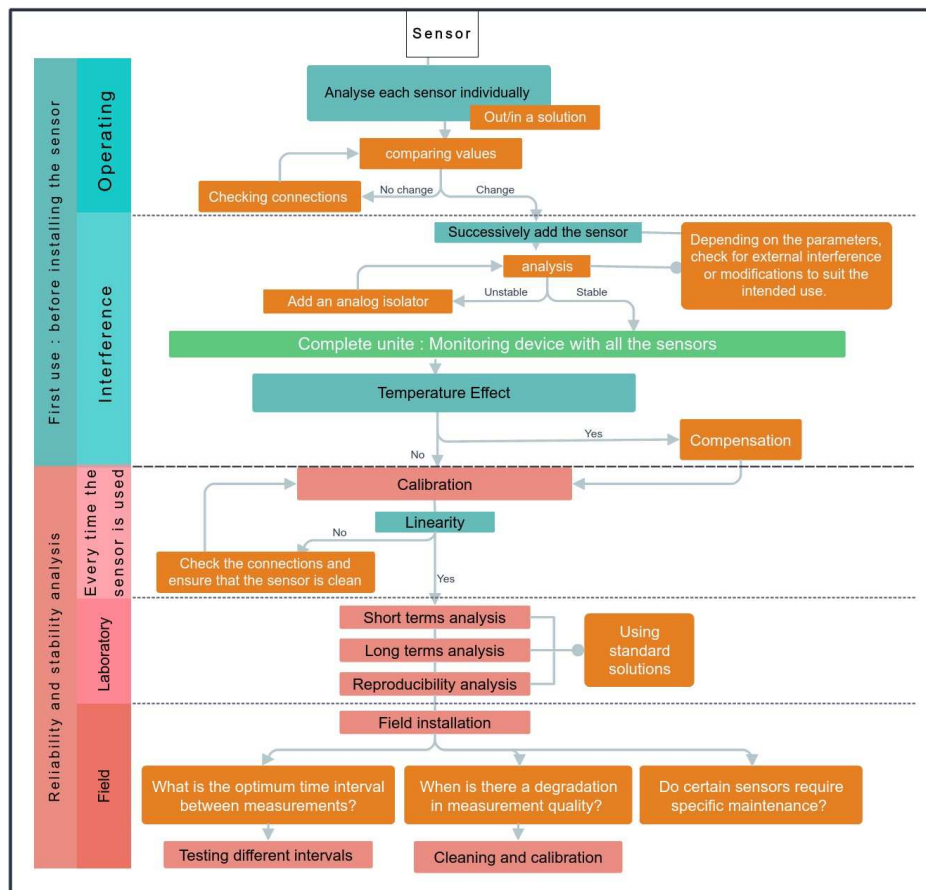


Abbildung 12. Rahmen für die Prüfung der Zuverlässigkeit von Sensoren.

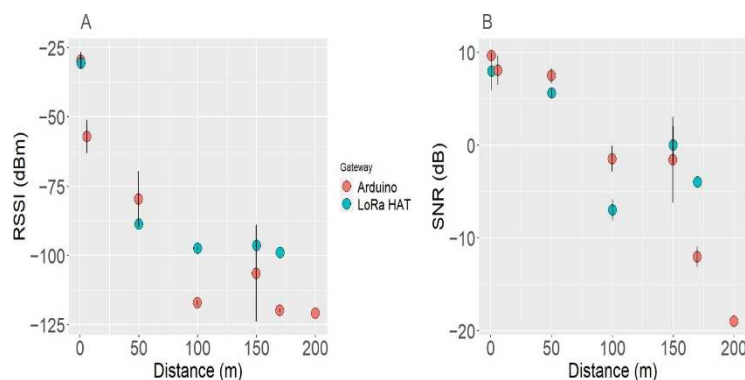


Abbildung 13. Leistung des LoRa-Gateways. Arduino LoRa-Gateway in rosa, LoRa HAT-Gateway in blauem Licht. (A) Anzeige der empfangenen Signalstärke (RSSI), (B) Signal-Rausch-Verhältnis (SNR).

Wir bewerteten die Leistung der LoRa-Gateways auch anhand des Zeitintervalls zwischen dem Empfang von zwei aufeinanderfolgenden Daten (Abbildung A11). Bis zu einer Entfernung von 100 m war das Intervall zwischen zwei Messungen für beide Gateways mit  $5,25 \pm 5,20$  min kurz, wobei das LoRa HAT-Gateway eine bessere Signalqualität aufwies. Oberhalb von 150 m vergrößerte sich das Zeitintervall auf über 15 min für das LoRa HAT-Gateway und auf über 20 min oberhalb von 200 m für das LoRa Arduino-Gateway. Aber auch bei längerem Empfangsintervall waren die Qualität und Quantität der



Daten noch ohne Verlust oder Beeinträchtigung der gesammelten Daten integriert. Jenseits dieser Entfernungsgrenze wurden keine Daten von den LoRa-Gateways empfangen.

Die Auswirkung der Umgebung auf die Signalqualität wurde mit dem LoRa Arduino-Gateway an zwei verschiedenen Standorten in 50 und 100 m Entfernung getestet. Der erste Standort war dicht bebaut, während der zweite Standort (Wohngebiet in Vitry, Frankreich) weniger Gebäude und damit weniger Hindernisse aufwies. Abbildung A12A,B zeigt, dass die Signalqualität am Standort 2 etwas besser war, mit einem höheren RSSI auf 50 m. Es gab jedoch keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Standorten (Wilcoxon-Test,  $p = 0,25$ ,  $n = 72$ ). Dieses Ergebnis ist nicht überraschend, da die Abdeckung in städtischen Gebieten in der Regel viel geringer ist als in offenen Gebieten, wie z. B. in ländlichen Gegenden, und bei letzteren bis zu mehreren Kilometern reicht [77].

#### 4. Schlussfolgerungen

Unsere Studie hat die Eignung der Arduino-Sensoren (mit Ausnahme des Trübungssensors) für die Überwachung der Wasserqualität gezeigt. Insbesondere der kostengünstige Temperatursensor funktionierte sehr gut, ebenso wie die beiden pH-Sensoren, die eine gute Wiederholbarkeit und Stabilität im Labor und im Feld zeigten. Das pH-1-Messgerät muss jedoch monatlich gewartet werden, einschließlich der Regenerierung des Sensors zur Entfernung von Rückständen auf der Elektrode. Der kostengünstige Leitfähigkeitssensor lieferte variable Ergebnisse mit geringerer Genauigkeit. Auch der Sauerstoffsensor war in Bezug auf die Datenerfassung und die erforderliche Wartung zufriedenstellend. Die Fülllösung sollte jeden Monat und die Membran alle 6 Monate gewechselt werden (je nach Häufigkeit der Verwendung). Der Trübungssensor wird nicht empfohlen, da er zu instabil und empfindlich gegenüber Fremdlicht ist. Für einen zuverlässigen, kostengünstigen Sensor muss je nach Verwendungszweck ein Gleichgewicht zwischen Kosten und Zuverlässigkeit des Sensors gefunden werden.

Anschließend wurde ein Rahmen vorgeschlagen, der die Charakterisierung und Validierung der Messgeräte unterstützt. Dieser flexible Rahmen ermöglicht die Integration verschiedener Sensoren, das Hinzufügen oder Ersetzen von Sensoren je nach Bedarf und die Schaffung einer Vielzahl von Geräten, um verschiedene Messziele und unterschiedliche Wassermatrizen zu erfüllen. Schließlich haben wir im Hinblick auf ein Netzwerk von Überwachungssystemen zwei LoRa-Kommunikationsmodule getestet (LoRa HAT-Gateway und LoRa Arduino pro-Gateway). Beide schnitten gut ab, mit maximalen Kommunikationsdistanzen von 170 m bzw. 200 m.

Dieses kostengünstige Überwachungsgerät wird in Netzwerken für die kontinuierliche Erfassung von Wasserqualitätsdaten in einem Fluss eingesetzt. Die Bereitstellung eines dichten, in ein IoT-System integrierten Mehrspondennetzes würde aufgrund der Vielzahl von Sensoren eine Echtzeitüberwachung mit höherer Präzision ermöglichen. Die Kopplung mit einem System zur Erkennung von Anomalien in Echtzeit, z. B. einem nichtlinearen kooperativen Kontrollalgorithmus auf der Grundlage der Spieltheorie [78], würde dazu beitragen, die kontinuierliche Überwachung von Oberflächengewässern zu verbessern und die Wartungskosten zu senken. Weitere Studien sind erforderlich, um diese Hypothese zu verifizieren. Die mit den Geräten gesammelten Daten werden auch in Modelle des maschinellen Lernens einfließen, um die Wasserqualität vorherzusagen und ein Warnsystem für städtische Badestellen einzurichten. Sie werden auch bei der Rationalisierung der Probenahme-strategie während der Badesaison helfen, um bakterielle Indikatoren für fäkale Verschmutzung zu messen. Diese kombinierten Ansätze werden die Leistung der Sensoren verbessern, die Kosten senken und die Entscheidungsprozesse beschleunigen.

**Beiträge der Autoren:** Konzeptualisierung, M.N., S.S., T.A. und F.S.L.; Methodik, M.N., T.A., S.S., F.S.L., M.S., P.D. und C.T.; formale Analyse, M.N.; Ressourcen, M.N., C.T., M.D., P.K., P.D., B.V.-L., M.S. und N.A.d.P.R.; Datenpflege, M.N., N.A.d.P.R. und F.S.L.; Schreiben - Erstellung des ursprünglichen Entwurfs, M.N.; Schreiben - Überprüfung und Redaktion, F.S.L., S.S., T.A., M.D., P.K., B.V.-L., A.G.L.G., M.S. und C.T.; Aufsicht, T.A., S.S., F.S.L., M.D. und P.K.; Projektverwaltung, T.A., S.S. und F.S.L.; Beschaffung von Finanzmitteln, T.A. und F.S.L. Alle Autoren haben die veröffentlichte Fassung des Manuskripts gelesen und sind damit einverstanden.

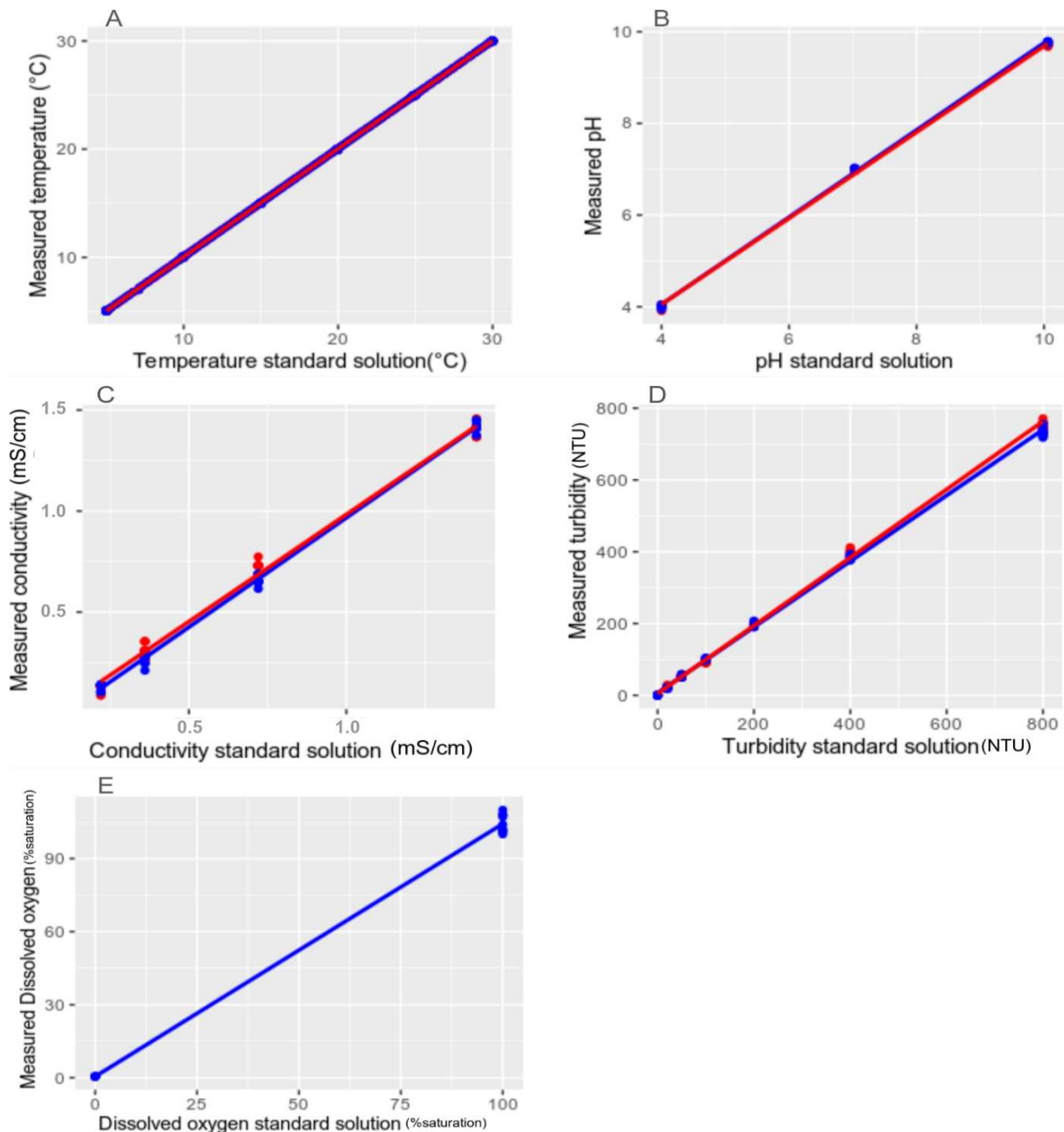
**Finanzierung:** Diese Studie wurde durch die langfristigen Forschungsprogramme Forbath und OPUR (Observatoire des Polluants Urbains) sowie durch die jährliche Ausschreibung für Forschungsprojekte der Universität Paris-Est Créteil finanziert. Das Promotionsstipendium von Manel Naloufi wurde von der Stadt Paris und der französischen Association Nationale de la Recherche et de la Technologie bereitgestellt.

**Erklärung zur Datenverfügbarkeit:** Dieser Datensatz ist noch nicht öffentlich zugänglich.

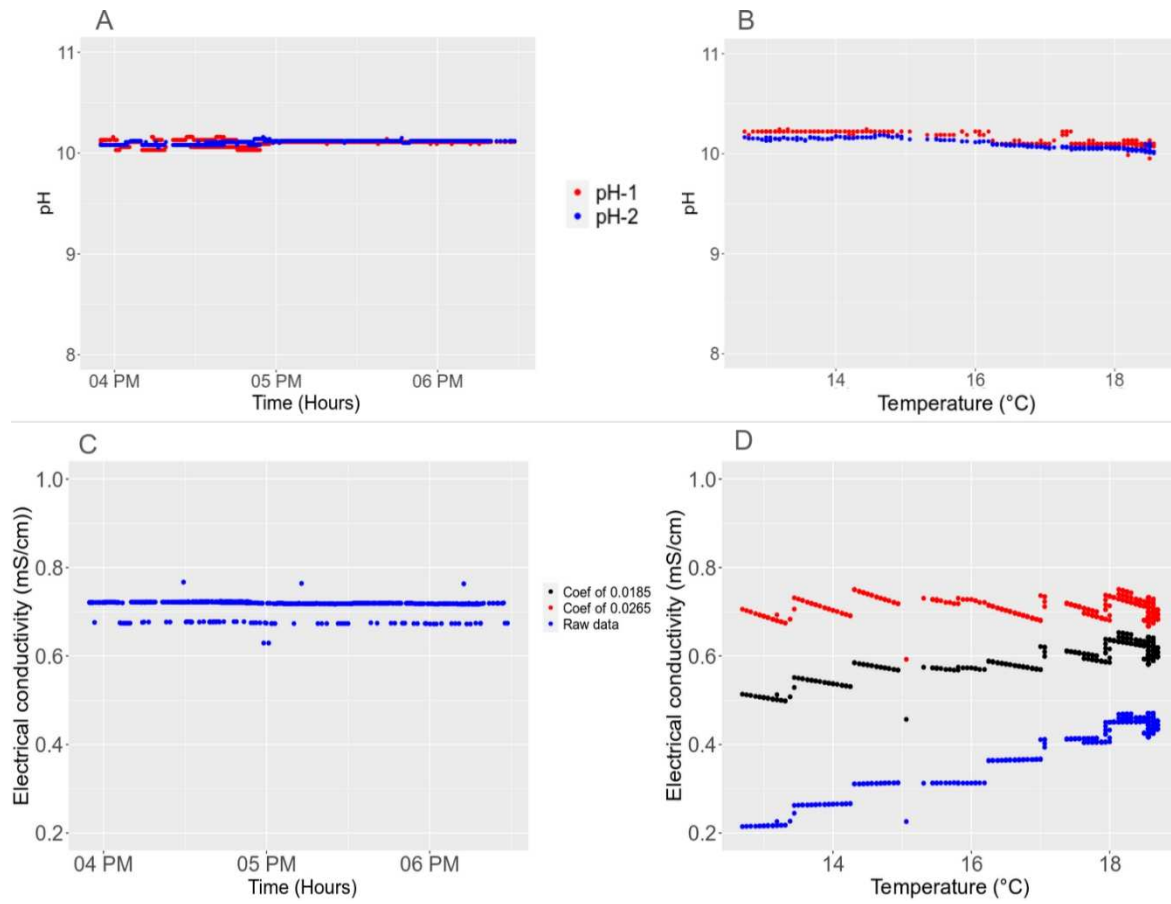
**Danksagungen:** Wir danken dem Service des canaux der Stadt Paris (Frankreich) für den Zugang zu den Messstellen am Bassin de la Villette. Wir danken Jean-Marie Mouchel für die Bereitstellung des Sensors für gelösten Sauerstoff (PME, MINIDOT LOGGER) und Mohamed Aymen Labiod für seine Hilfe bei der Installation und Konfiguration der Gateways.

**Interessenkonflikte:** Die Autoren erklären, dass keine Interessenkonflikte bestehen.

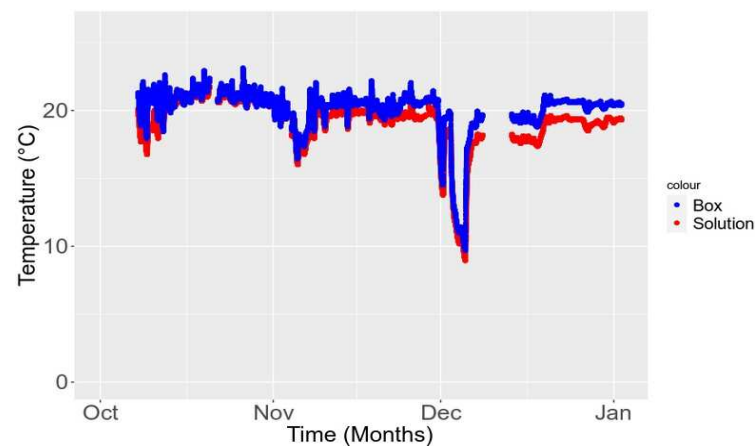
## Anhang A



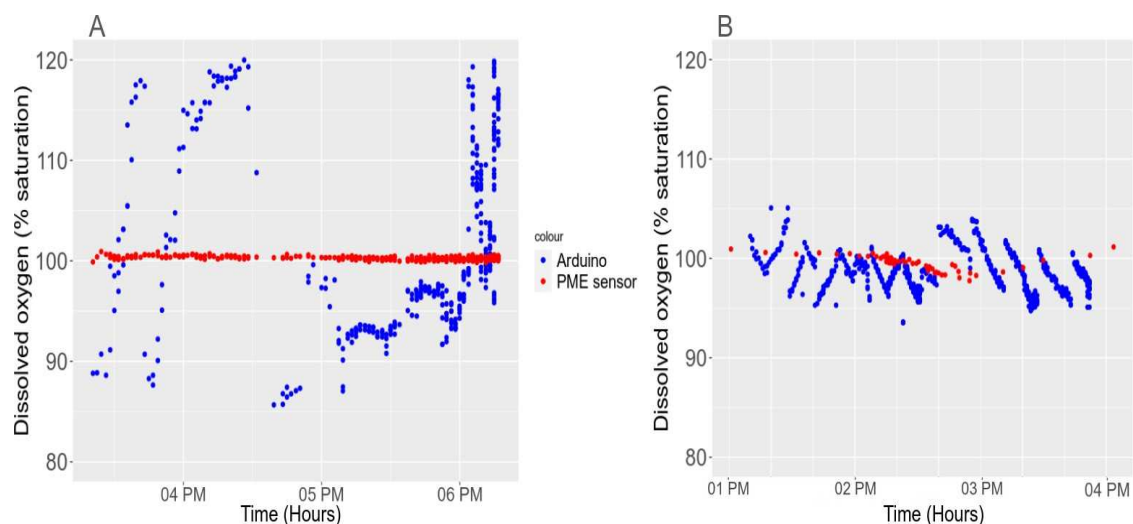
**Abbildung A1.** Analyse der Sensorkalibrierung für 2 Einheiten (die Ergebnisse der ersten Einheit in blau und der zweiten Einheit in rot). (A) Temperatur. (B) pH-Wert. (C) Leitfähigkeit. (D) Trübung. (E) Gelöster Sauerstoff.



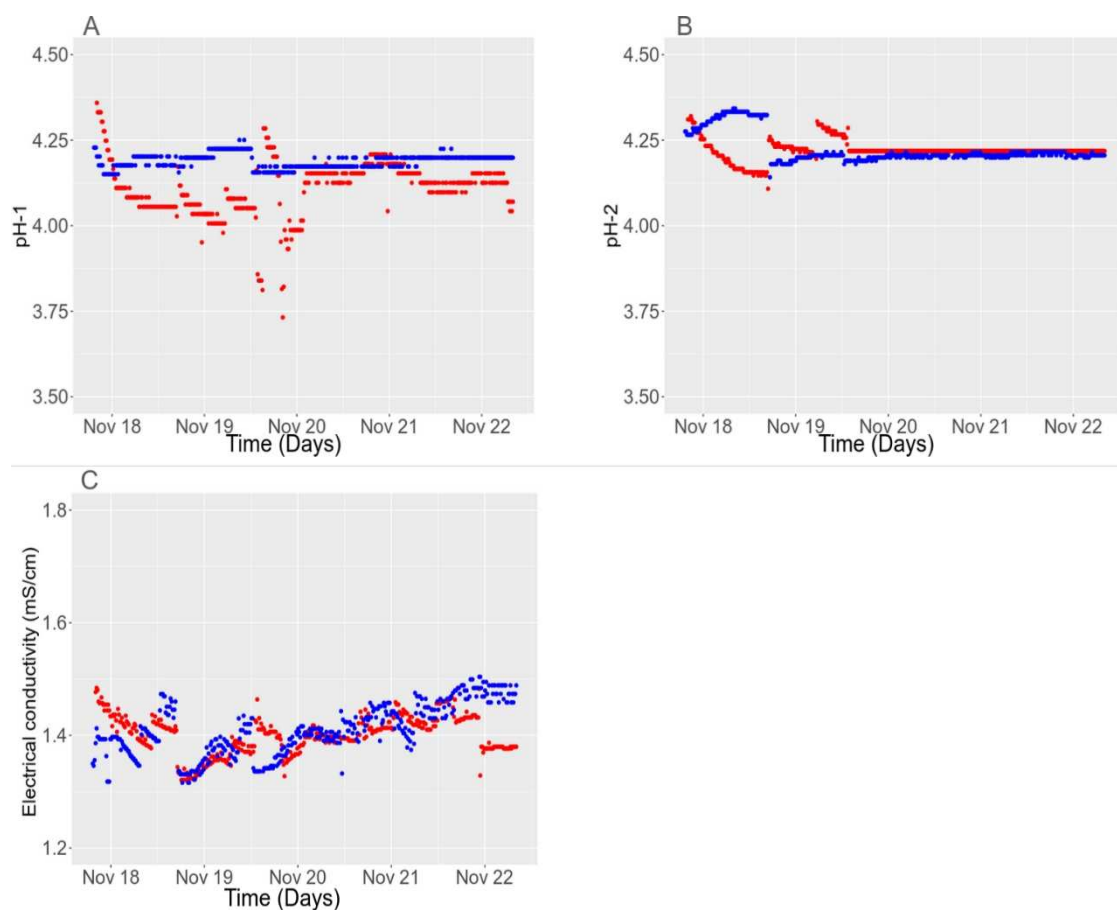
**Abbildung A2.** Auswirkungen der Temperatur auf den pH-Wert und die Leitfähigkeit. (A–C) Referenz, Analyse bei fester Temperatur. (B) pH-Messung bei verschiedenen Temperaturen. (D) Leitfähigkeit bei verschiedenen Temperaturen ohne Kompensation (Rohdaten) in blau und mit Kompensation durch Verwendung von 2 Kompensationskoeffizienten (Koeffizient von 0,0185 in schwarz und 0,0265 in rot).



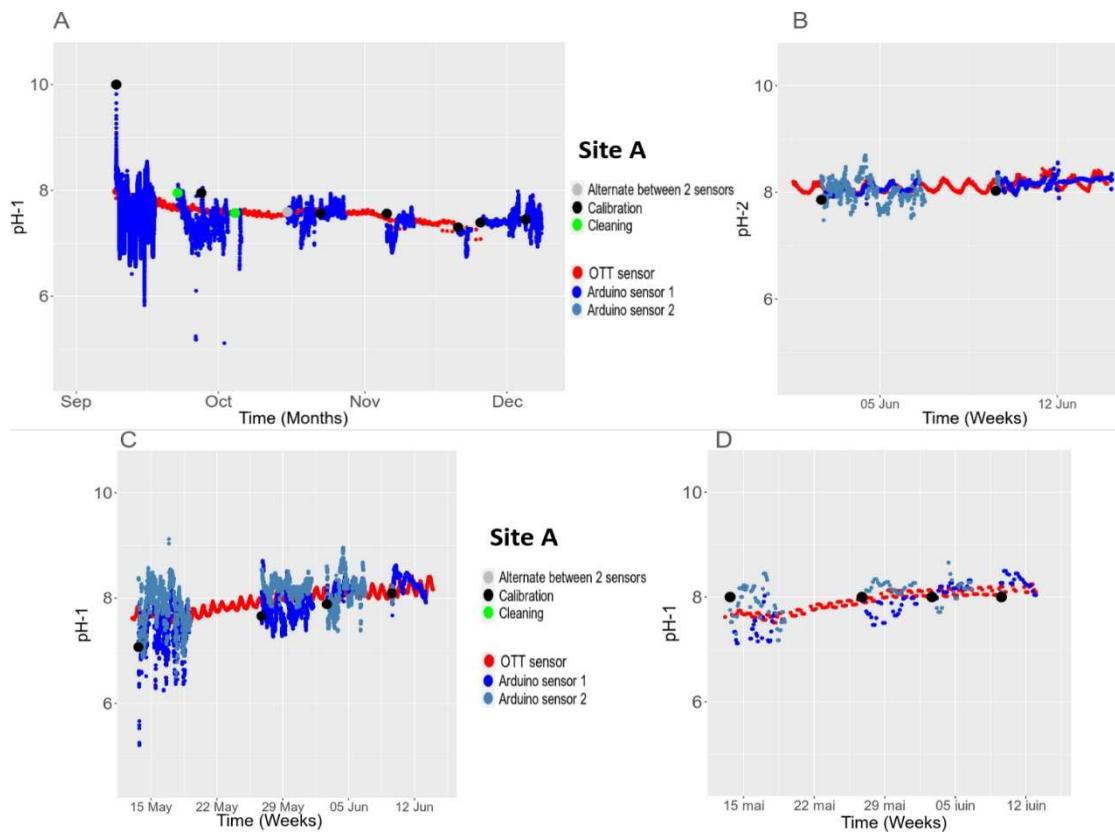
**Abbildung A3.** Auswirkung der Batterietemperatur in der Box. In blau die Temperatur in der wasserdichten Box und in rot die Lösung bei Labortemperatur.



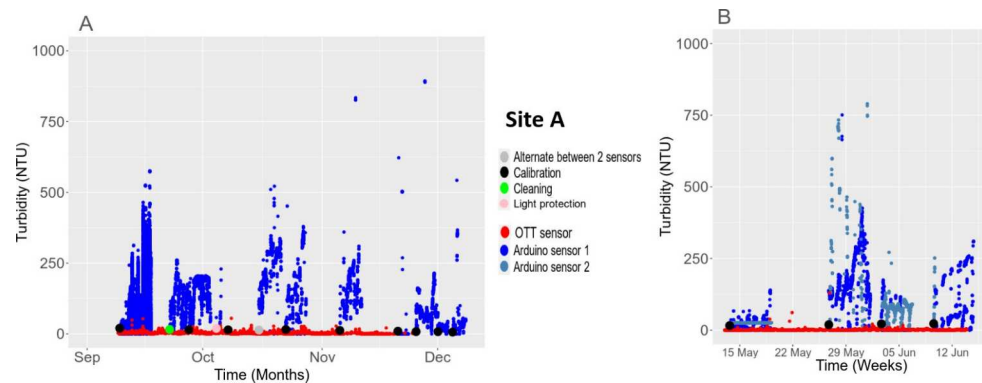
**Abbildung A4.** Auswirkung der Langzeitverwendung der Membrankappe des Sensors für gelösten Sauerstoff. (A) Nach 6-monatiger Verwendung. (B) Neue Membrankappe.



**Abbildung A5.** Vergleich zweier Gerätesensoren, die gleichzeitig in derselben Lösung platziert wurden: in blau, Gerät 1, und in rot, Gerät 2. (A) pH-1, (B) pH-2, und (C) Leitfähigkeit.

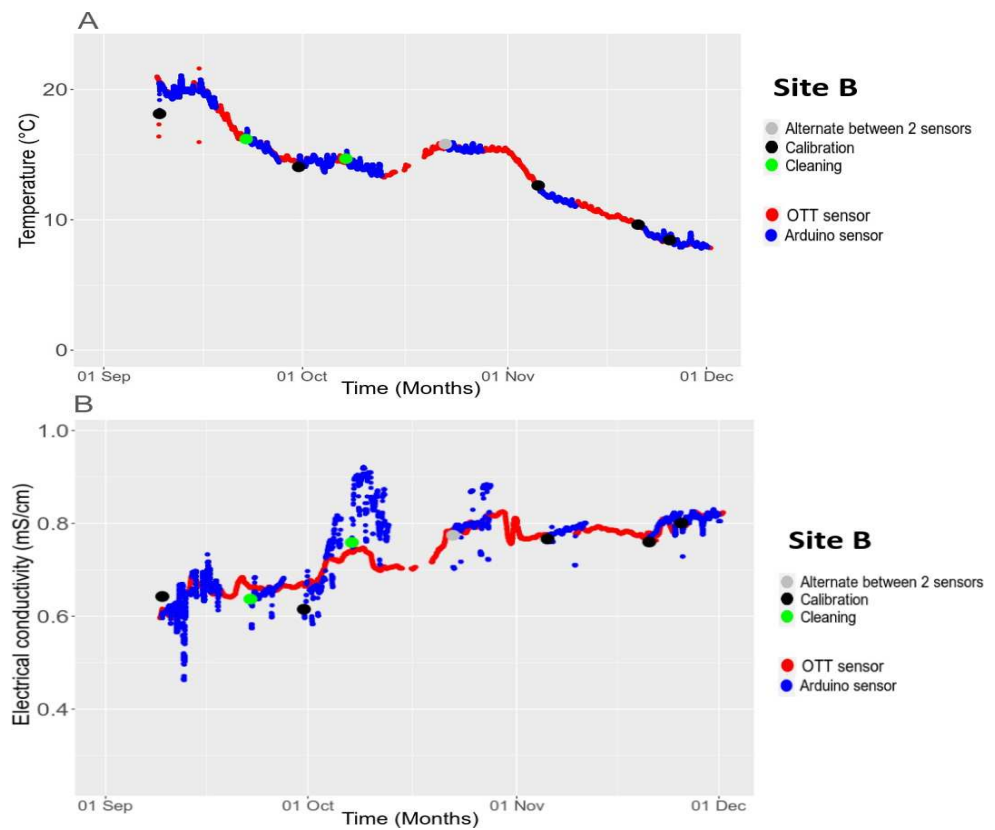


**Abbildung A6:** pH-Analyse am Standort A am Bassin de la Villette. OTT-Sensoren in rot, Arduino-Sensoren in blau. Der schwarze Punkt zeigt das Datum der Kalibrierung an, grün nur, wenn der Sensor gereinigt wurde, und grau, wenn sich der Analyseprozess geändert hat, wobei jede Woche zwischen den Sensoreinheiten gewechselt wird: (A) von Anfang September 2022 bis Anfang Januar 2023 für das pH-1-Meter, (B) im Juni 2023 für das pH-2-Meter, (C) von Mai bis Juni 2023 für das pH-1-Meter, und (D) Daten aus (C), gemittelt über 4 h und gereinigt durch ARIMA.

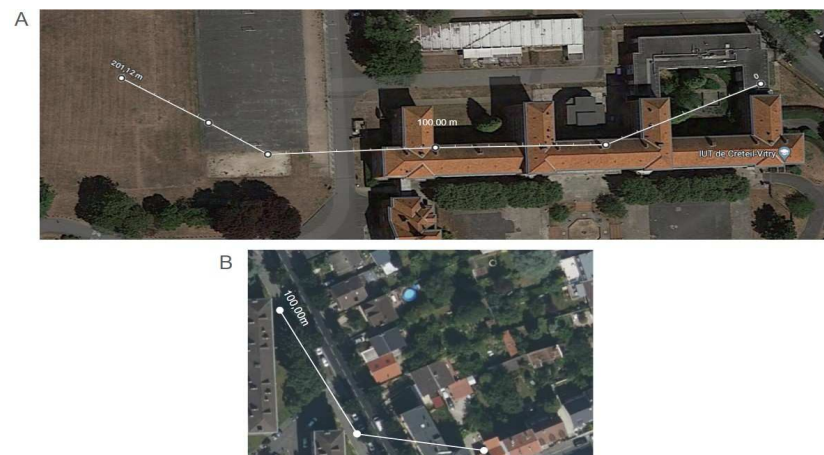


**Abbildung A7.** Trübungsanalyse am Standort A im Bassin de la Villette. OTT-Sensoren in rot, Arduino-Sensoren in blau. Der schwarze Punkt zeigt das Datum der Kalibrierung an, grüne Punkte, wenn der Sensor gereinigt wurde, und graue Punkte, wenn sich der Analyseprozess geändert hat, wobei jede Woche zwischen den Sensoreinheiten und den rosafarbenen Punkten für den externen Lichtschutz gewechselt wird: (A) von Anfang September 2022 bis Anfang Januar 2023 und (B) von Mai bis Juni 2023.





**Abbildung A8.** Analyse von Temperatur (**A**) und Leitfähigkeit (**B**) am Standort B im Bassin de la Villette. OTT-Sensoren in rot, Arduino-Sensoren in blau. Der schwarze Punkt zeigt das Datum der Kalibrierung an, der grüne Punkt, wenn der Sensor gereinigt wurde, und der graue Punkt, wenn sich das Analyseverfahren geändert hat, wobei jede Woche zwischen den Sensoreinheiten gewechselt wird.



**Abbildung A9.** Standort 1 (Campus von Vitry) (**A**) und Standort 2 (Wohngebiet in Vitry) (**B**) für die 2 LoRa-Gateways.

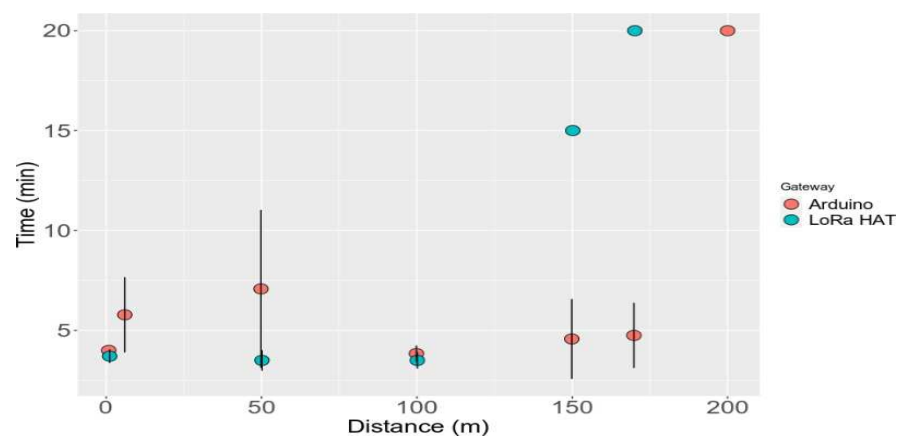
### Analyse each sensor (first use) :

- Put the sensors in the solution then out :
  - If measurements do not change : check the connections between the Arduino board and the sensor
  - If measurements change : the sensor is operational
- Check for interference : check that the measurement remains stable over time
  - If measurements are unstable : add an analog isolator for the unstable sensor
  - If measurements are stable: the monitoring device is complete and operational
- Check temperature effect : check if the measurement changes with increasing temperature
  - Measurement changes : identify the right compensation factor
  - Measurement does not change : the sensor is operational

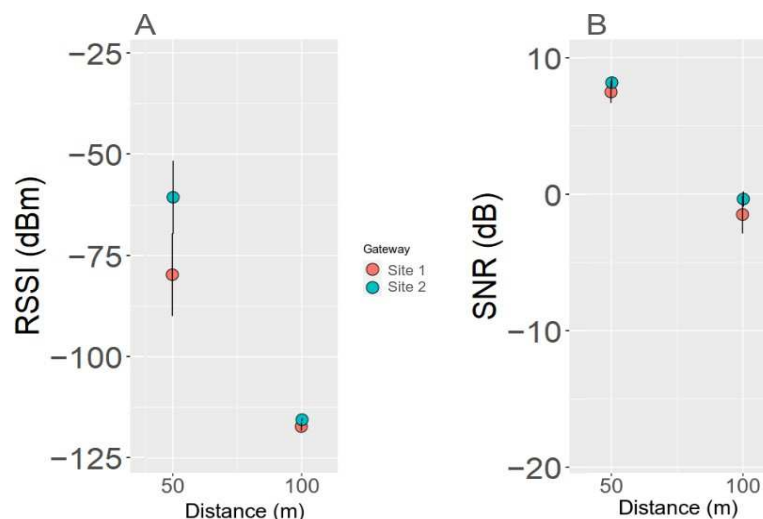
### Reliability and stability analysis :

- Calibration : analysis of the linearity
  - If the correlation is  $< 0.99$  : Check the connections and ensure that the sensor is clean
  - If the correlation is  $> 0.99$  : good linearity
- Laboratory analysis : using standard solutions in a controlled environment
  - Short term analysis : during few hours
  - Long term analysis : during few months
  - Reproducibility of the sensors : comparison between 2 units in the same solutions
- Field analysis : identify the optimal process for collecting reliable data
  - Optimize measurement interval : increase the interval until a suitable interval is found for continuous, energy-optimized monitoring
  - Optimize the maintenance process : identify when there is a degradation in measurement quality in order to identify the most effective cleaning and calibration method
  - Check if certain sensors require specific maintenance : e.g. pH-1 requires regeneration once a month

**Abbildung A10.** Detailliertere Übersicht über den Rahmen für die Prüfung der Zuverlässigkeit der Sensoren.



**Abbildung A11.** Zeitabstand zwischen zwei Maßnahmen. Arduino LoRa-Gateway in rosa, LoRa HAT-Gateway in hellblau.



**Abbildung A12.** Leistungsanalyse der LoRa-Gateways an den beiden Standorten (Standort 1 (Campus von Vitry) in rosa, Standort 2 (Wohngebiet in Vitry) in hellblau). **(A)** Anzeige der empfangenen Signalstärke (RSSI), **(B)** Signal-Rausch-Verhältnis (SNR).

## Referenzen

- Bunsen, J.; Berger, M.; Finkbeiner, M. Planetary boundaries for water-A review. *Ecol. Indic.* **2021**, *121*, 107022. [CrossRef]
- Whelan, M.J.; Linstead, C.; Worrall, F.; Ormerod, S.J.; Durance, I.; Johnson, A.C.; Johnson, D.; Owen, M.; Wiik, E.; Howden, N.J.; et al. Is water quality in British flivers "better than at any time since the end of the Industrial Revolution"? *Sci. Total Environ.* **2022**, *843*, 157014. [CrossRef]
- Sutadian, A.D.; Muttill, N.; Yilmaz, A.G.; Perera, B. Development of river water quality indices-A review. *Environ. Monit. Assess.* **2016**, *188*, 58. [CrossRef]
- Carvalho, D.V.; Pereira, E.M.; Cardoso, J.S. Machine learning interpretability: Ein Überblick über Methoden und Metriken. *Elektronik* **2019**, *8*, 832. [CrossRef]
- Whelan, M.; Ramos, A.; Villa, R.; Guymer, I.; Jefferson, B.; Rayner, M. A new conceptual model of pesticide transfers from agricultural land to surface waters with a specific focus on metaldehyde. *Environ. Sci. Process. Impacts* **2020**, *22*, 956-972. [CrossRef]
- WHO. World Health Organization. 2018. Online verfügbar: <https://www.who.int/docs/default-source/wash-documents/who-recommendations-on-ec-bwd-august-2018.pdf> (Zugriff am 16. Juli 2021).
- Mouchel, J.M.; Lucas, F.S.; Moulin, L.; Wurtzer, S.; Euzen, A.; Haghe, J.P.; Rocher, V.; Azimi, S.; Servais, P. Badetätigkeit und mikrobiologische Flusswasserqualität in der Region Paris: Eine langfristige Perspektive. *Seine River Basin Handb. Environ. Chem.* **2020**, *90*, 323-354.
- Yaroshenko, I.; Kirsanov, D.; Marjanovic, M.; Lieberzeit, P.A.; Korostynska, O.; Mason, A.; Frau, I.; Legin, A. Real-time water quality monitoring with chemical sensors. *Sensors* **2020**, *20*, 3432. [CrossRef]
- Farouk, M.I.H.Z.; Latip, M.F.A.; Jamil, Z. Integriertes Wasserqualitätsüberwachungssystem und IoT-Technologie für die Überwachung von Oberflächenwasser. *AIP Conf. Proc.* **2022**, *2532*, 050002.
- McGrane, S.J. Auswirkungen der Verstädterung auf die Dynamik der Hydrologie und der Wasserqualität sowie die städtische Wasserwirtschaft: Ein Überblick. *Hydrol. Sci. J.* **2016**, *61*, 2295-2311. [CrossRef]
- Zhu, Q.; Cherqui, F.; Bertrand-Krajewski, J.L. Endnutzerperspektive von kostengünstigen Sensoren für die Überwachung von städtischem Regenwasser: Ein Überblick. *Water Sci. Technol.* **2023**, *87*, 2648-2684. [CrossRef]
- Kannel, P.R.; Lee, S.; Lee, Y.S.; Kanel, S.R.; Khan, S.P. Anwendung von Wasserqualitätsindizes und gelöstem Sauerstoff als Indikatoren für die Klassifizierung von Flusswasser und die Bewertung der Auswirkungen von Städten. *Environ. Monit. Assess.* **2007**, *132*, 93-110. [CrossRef]
- Wang, Z.A.; Moustahfid, H.; Mueller, A.V.; Michel, A.P.M.; Mowlem, M.; Glazer, B.T.; Mooney, T.A.; Michaels, W.; McQuillan, J.S.; Robidart, J.C.; et al. Advancing Observation of Ocean Biogeochemistry, Biology, and Ecosystems with Cost-Effective in situ Sensing Technologies. *Vorderseite. Mar. Sci.* **2019**, *6*, 519. [CrossRef]
- Bogdan, R.; Paliuc, C.; Crisan-Vida, M.; Nimara, S.; Barmayoun, D. Low-Cost Internet-of-Things Water-Quality Monitoring System for Rural Areas. *Sensors* **2023**, *23*, 3919. [CrossRef]
- Wuijts, S.; Friederichs, L.; Hin, J.A.; Schets, F.M.; Van Rijswijk, H.F.; Driessen, P.P. Governance conditions to overcome the challenges of realizing safe urban bathing water sites. *Int. J. Water Resour. Dev.* **2022**, *38*, 554-578. [CrossRef]
- Wuijts, S.; De Vries, M.; Zijlema, W.; Hin, J.; Elliott, L.R.; Dirven-van Breemen, L.; Scoccimarro, E.; de Roda Husman, A.M.; Külvik, M.; Frydas, I.S.; et al. The health potential of urban water: Zukunftsszenarien zu lokalen Risiken und Chancen. *Cities* **2022**, *125*, 103639. [CrossRef]

17. de Camargo, E.T.; Spanhol, F.A.; Slongo, J.S.; da Silva, M.V.R.; Pazinato, J.; de Lima Lobo, A.V.; Coutinho, F.R.; Pfrimer, F.W.D.; Lindino, C.A.; Oyamada, M.S.; et al. Low-Cost Water Quality Sensors for IoT: A Systematic Review. *Sensors* **2023**, *23*, 4424. [CrossRef]
18. Huan, J.; Li, H.; Wu, F.; Cao, W. Design of water quality monitoring system for aquaculture ponds based on NB-IoT. *Aquac. Eng.* **2020**, *90*, 102088. [CrossRef]
19. Hong, W.J.; Shamsuddin, N.; Abas, E.; Apong, R.A.; Masri, Z.; Suhaimi, H.; Gödeke, S.H.; Noh, M.N.A. Water quality monitoring with arduino based sensors. *Environments* **2021**, *8*, 6. [CrossRef]
20. Gowri, D.; Prasad, S.S.; Kiran, O.; Mysaiah, M.M. Water quality level monitoring system using arduino. *J. Eng. Sci.* **2023**, *14*, 226-229.
21. Sekhar, K.C.; Venkatesh, B.; Reddy, K.S.; Giridhar, G.; Nithin, K.; Eshwar, K. IoT-based Realtime Water Quality Management System using Arduino Microcontroller. *Turk. J. Comput. Math. Educ. (TURCOMAT)* **2023**, *14*, 783-792.
22. Cheniti, M.; Abdesslam, B.; Kaouthar, R. An Arduino-Based Water Quality Monitoring System Using pH, Temperature, Tridity, and TDS Sensors. Online verfügbar: [https://www.researchgate.net/profile/Cheniti-Mohamed/publication/371608557\\_An\\_Arduino-based\\_Water\\_Quality\\_Monitoring\\_System\\_using\\_pH\\_Temperature\\_Turbidity\\_and\\_TDS\\_Sensors/links/648c186bc41fb852dd0a0b70/An-Arduino-based-Water-Quality-Monitoring-System-using-pH-Temperature-Turbidity-and-TDS-Sensors.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Cheniti-Mohamed/publication/371608557_An_Arduino-based_Water_Quality_Monitoring_System_using_pH_Temperature_Turbidity_and_TDS_Sensors/links/648c186bc41fb852dd0a0b70/An-Arduino-based-Water-Quality-Monitoring-System-using-pH-Temperature-Turbidity-and-TDS-Sensors.pdf) (Zugriff am 13. Dezember 2023).
23. Hacker, J. Assessing the Ability of Arduino-Based Sensor Systems to Monitor Changes in Water Quality. Dissertation, Georgia Southern University, Statesboro, GA, USA, 2023.
24. Trevathan, J.; Schmidtke, S.; Read, W.; Sharp, T.; Sattar, A. An IoT general-purpose sensor board for enabling remote aquatic environmental monitoring. *Internet Things* **2021**, *16*, 100429 [CrossRef]
25. Wong, Y.J.; Nakayama, R.; Shimizu, Y.; Kamiya, A.; Shen, S.; Muhammad Rashid, I.Z.; Nik Sulaiman, N.M. Toward industrial revolution 4.0: Entwicklung, Validierung und Anwendung eines 3D-gedruckten IoT-basierten Systems zur Überwachung der Wasserqualität. *J. Clean. Prod.* **2021**, *324*, 129230. [CrossRef]
26. Abotaleb, M. Authentifizierte WiFi-basierte drahtlose Datenübertragung von mehreren Sensoren durch einen Laborstand basierend auf Zusammenarbeit zwischen ATMEGA2560 und ESP32 Mikrocontrollern. *Sci. J. Gdyn. Marit. Univ.* **2023**, 27-41. [CrossRef]
27. Randika, M.; Amarasooriya, A.; Weragoda, S. Development of an arduino-based low-cost turbidity and electric conductivity meter for wastewater characterization. *Larhyss J.* **2022**, *51*, 115-127.
28. Dfrobot. Online verfügbar: <https://www.dfrobot.com/> (Zugriff am 1. September 2023).
29. I2C ADS1115 16-Bit ADC-Modul. Online verfügbar: <https://www.dfrobot.com/product-1730.html> (Zugriff am 25. November 2023).
30. Analoges elektrisches Leitfähigkeitsmessgerät V2. Online verfügbar: [https://wiki.dfrobot.com/Gravity\\_Analog\\_Electrical\\_Conductivity\\_Sensor\\_Meter\\_V2\\_K=1\\_SKU\\_DFR0300](https://wiki.dfrobot.com/Gravity_Analog_Electrical_Conductivity_Sensor_Meter_V2_K=1_SKU_DFR0300) (Zugriff am 11. November 2023).
31. Hem, J.D. *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*; Department of the Interior, US Geological Survey: Reston, VA, USA, 1985; Band 2254.
32. DS18B20 Arduino-Temperatursensor. Online verfügbar: [https://wiki.dfrobot.com/Waterproof\\_DS18B20\\_Digital\\_Temperature\\_Sensor\\_SKU\\_DFR0198\\_](https://wiki.dfrobot.com/Waterproof_DS18B20_Digital_Temperature_Sensor_SKU_DFR0198_) (Zugriff am 25. November 2023).
33. pH-Meter V2. Online verfügbar: [https://wiki.dfrobot.com/Gravity\\_Analog\\_pH\\_Sensor\\_Meter\\_Kit\\_V2\\_SKU\\_SEN0161-V2](https://wiki.dfrobot.com/Gravity_Analog_pH_Sensor_Meter_Kit_V2_SKU_SEN0161-V2) (Zugriff am 24. November 2023).
34. pH-Meter 2 V2. Online verfügbar: [https://wiki.dfrobot.com/Analog\\_pH\\_Meter\\_Pro\\_SKU\\_SEN0169](https://wiki.dfrobot.com/Analog_pH_Meter_Pro_SKU_SEN0169) (Zugriff am 24. November 2023).
35. Hakim, W.; Hasanah, L.; Mulyanti, B.; Aminudin, A. Characterization of turbidity water sensor SEN0189 on the changes of total suspended solids in the water. *J. Phys. Conf. Ser.* **2019**, *1280*, 022064. [CrossRef]
36. Für Arduino. A.T.S. Online verfügbar: <https://www.dfrobot.com/product-1394.html> (Zugriff am 15. November 2023).
37. Analoger Gelöstsauerstoffsensoren. Online verfügbar: [https://wiki.dfrobot.com/Gravity\\_Analog\\_Dissolved\\_Oxygen\\_Sensor\\_SKU\\_SEN0237](https://wiki.dfrobot.com/Gravity_Analog_Dissolved_Oxygen_Sensor_SKU_SEN0237) (Zugriff am 20. November 2023).
38. Villeneuve, V.; Légaré, S.; Painchaud, J.; Vincent, W. Dynamique et modélisation de l'oxygène dissous en rivière. *Rev. Des. Sci. De L'eau* **2006**, *19*, 259-274. [CrossRef]
39. Trevathan, J.; Read, W.; Schmidtke, S. Towards the Development of an Affordable and Practical Light Attenuation Turbidity Sensor for Remote Near-Time Aquatic Monitoring. *Sensoren* **2020**, *20*, 1993. [CrossRef]
40. Arduino Pro Gateway. Online verfügbar: <https://www.cascoantiguopro.com/fr/oceanographie/capteurs-oceanographie/minidot-logger.html> (Zugriff am 3. Mai 2023).
41. Hydrolab DS5X, D. M. W. Q. M. Online verfügbar: <https://www.ott.com/download/user-manual-hydrolab-ds5x-ds5-and-ms5-water-quality-multiprobes-1/> (Zugriff am 4. Januar 2024).
42. D.L.S. Online verfügbar: [https://wiki1.dragino.com/index.php/Lora\\_Shield](https://wiki1.dragino.com/index.php/Lora_Shield) (Zugriff am 4. November 2023).
43. R.P.L.H. Online verfügbar: [https://fr.farnell.com/seeed-studio/113990254/gps-lora-hat-for-raspberry-pi/dp/3498581?gad\\_source=5&cjevent=6c2f6bd47f0811ee816c1cda0a18ba74&cjdata=MXxZfDB8WXww&CMP=AFC-CJ-FR-1765328&gross\\_price=true&source=CJ](https://fr.farnell.com/seeed-studio/113990254/gps-lora-hat-for-raspberry-pi/dp/3498581?gad_source=5&cjevent=6c2f6bd47f0811ee816c1cda0a18ba74&cjdata=MXxZfDB8WXww&CMP=AFC-CJ-FR-1765328&gross_price=true&source=CJ) (Zugriff am 1. November 2023).
44. A.P.G.D. Online verfügbar: <https://docs.arduino.cc/retired/kits/pro-gateway> (Zugriff am 1. November 2023).
45. Tsanousa, A.; Xefteris, V.R.; Meditskos, G.; Vrochidis, S.; Kompatsiaris, I. Combining RSSI and Accelerometer Features for Room-Level Localization. *Sensoren* **2021**, *21*, 2723. [CrossRef]

46. Audéoud, H.J.; Heusse, M.; Duda, A. Single reception estimation of wireless link quality. In Proceedings of the 2020 IEEE 31st Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, London, UK, 31 August–3 September 2020; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2020; pp. 1–7.
47. Guidara, A.; Fersi, G.; Jemaa, M.B.; Derbel, F. A new deep learning-based distance and position estimation model for range-based indoor localization systems. *Ad Hoc Netw.* **2021**, *114*, 102445. [CrossRef]
48. Guillot-Le Goff, A.; Angelotti, N.; Carmigniani, R.; Souza, G.C.; Saad, M.; Dubois, P.; Vinçon-Leite, B. Prévision de la qualité Microbiologique des Milieux Aquatiques: Modélisation Hydrodynamique Pour Anticiper des Épisodes de Contamination Microbiologique sur des Sites de Baignade Urbaine. In Proceedings of the Novatech 2023: 11e Conférence Internationale sur l'Eau dans la Ville. 2023. Online verfügbar: <https://hal.science/hal-04176992/> (Zugriff am 5. Dezember 2023).
49. Venelinov, T. Vergleich der Normen ISO 21748 und ISO 11352 zur Abschätzung der Messunsicherheit bei der Wasseranalyse. *Ovidius Univ. Ann. Ser. Civ. Eng.* **2016**, *18*, 187–192.
50. Moyón Rivera, C.W.; Ordóñez Berrones, D.K. Construcción de un Prototipo de Red de Nodos Inteligentes Para Supervisar la Calidad y Niveles del Agua Potable en los Tanques de Reserva de EP-EMAPAR. Bachelor's Thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2019.
51. Saputra, R.E.; Irawan, B.; Nugraha, Y.E. Systemdesign und Implementierung eines Automatisierungssystems für ein Expertensystem zur Steuerung von Hydroponik-Nährstoffen unter Verwendung der Vorwärtsverkettungsmethode. In Proceedings of the 2017 IEEE Asia Pacific Conference on Wireless and Mobile (APWiMob), Bandung, Indonesia, 28–29 November 2017; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2017; pp. 41–46.
52. Rozaq, I.A.; Setyaningsih, N.Y.D.; Gunawan, B. Pengkondisian Sinyal Sensor Salinitas Dfr0300 Menggunakan Arduino Due. 2020. Online verfügbar: <https://www.unisbank.ac.id/ojs/index.php/sendu/article/view/8022> (Zugriff am 10. April 2023).
53. Hayashi, M. Temperatur-Elektrische Leitfähigkeitsbeziehung von Wasser für die Umweltüberwachung und die Inversion geophysikalischer Daten. *Environ. Monit. Assess.* **2004**, *96*, 119–128. [CrossRef]
54. Jeroschewski, P.; Zur Linden, D. A flow system for calibration of dissolved oxygen sensors. *Fresenius' J. Anal. Chem.* **1997**, *358*, 677–682. [CrossRef]
55. Clesceri, L.S. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*; American Public Health Association: Washington, DC, USA, 1998; Band 9.
56. Keller, G.V.; Frank, C. *Electrical Methods in Geophysical Prospecting*; Pergamon Press: Oxford, UK, 1966.
57. Hitchman, M.L. *Measurement of Dissolved Oxygen*; Wiley: New York, NY, USA, 1978.
58. Tafeln. Online verfügbar: <https://support.arduino.cc/hc/en-us/articles/360016076980-What-is-the-operating-temperature-range-for-Arduino-boards> (Zugriff am 10. April 2023).
59. Alimorong, F.M.L.S.; Apacionado, H.A.D.; Villaverde, J.F. Arduino-based multiple aquatic parameter sensor device for evaluating pH, turbidity, conductivity and temperature. In Proceedings of the 2020 IEEE 12th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM), Manila, Philippines, 3–7 December 2020; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2020; pp. 1–5.
60. Saha, S.; Rajib, R.H.; Kabir, S. IoT based automated fish farm aquaculture monitoring system. In Proceedings of the 2018 International Conference on Innovations in Science, Engineering and Technology (ICISSET), Chittagong, Bangladesh, 27–28 October 2018; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2018; pp. 201–206.
61. Méndez-Barroso, L.; Rivas-Márquez, J.; Sosa-Tinoco, I.; Robles-Morúa, A. Design und Implementierung einer kostengünstigen Multiparameter-Sonde zur Bewertung der zeitlichen Schwankungen der Wasserqualitätsbedingungen in einem Lagunensystem im Mündungsgebiet. *Environ. Monit. Assess.* **2020**, *192*, 710. [CrossRef]
62. Xu, S.; Lu, B.; Baldea, M.; Edgar, T.F.; Wojsznis, W.; Blevins, T.; Nixon, M. Data cleaning in the process industries. *Rev. Chem. Eng.* **2015**, *31*, 453–490. [CrossRef]
63. Le Deunf, J.; Debes, N.; Schmitt, T.; Billot, R. A review of data cleaning approaches in a hydrographic framework with a focus on bathymetric multibeam echosounder datasets. *Geosciences* **2020**, *10*, 254. [CrossRef]
64. Wang, X.; Wang, C. Bereinigung von Zeitreihendaten: A survey. *IEEE Access* **2019**, *8*, 1866–1881. [CrossRef]
65. Sedaghat, L.; Hersey, J.; McGuire, M.P. Detecting spatio-temporal outliers in crowdsourced bathymetry data. In Proceedings of the Second ACM SIGSPATIAL International Workshop on Crowdsourced and Volunteered Geographic Information, Orlando, FL, USA, 5. November 2013; S. 55–62.
66. Yang, J.; Rahardja, S.; Fränti, P. Mean-shift outlier detection and filtering. *Pattern Recognit.* **2021**, *115*, 107874. [CrossRef]
67. Bianco, A.M.; Garcia Ben, M.; Martinez, E.; Yohai, V.J. Outlier detection in regression models with arima errors using robust estimates. *J. Forecast.* **2001**, *20*, 565–579. [CrossRef]
68. Liu, H.; Shah, S.; Jiang, W. On-line outlier detection and data cleaning. *Comput. Chem. Eng.* **2004**, *28*, 1635–1647. [CrossRef]
69. Shi, M.; Ma, J.; Zhang, K. The Impact of Water Temperature on In-Line Turbidity Detection. *Water* **2022**, *14*, 3720. [CrossRef]
70. Sensor. Online verfügbar: [https://www.hemmis.com/docs/hydrolab/MS5\\_DS5\\_DS5X\\_low\\_F.pdf](https://www.hemmis.com/docs/hydrolab/MS5_DS5_DS5X_low_F.pdf) (Zugriff am 5. Januar 2024).
71. Demetillo, A.T.; Japitana, M.V.; Taboada, E.B. Ein System zur Überwachung der Wasserqualität in einem großen Wassergebiet unter Verwendung drahtloser Sensor netzwerktechnologie. *Sustain. Environ. Res.* **2019**, *29*, 12. [CrossRef]
72. Analoges elektrisches Leitfähigkeitsmessgerät Pro. Online verfügbar: [https://wiki.dfrobot.com/SKU\\_SEN0451\\_Gravity\\_Analog\\_Elektrischer\\_Leitfähigkeitssensor\\_PRO\\_K\\_1](https://wiki.dfrobot.com/SKU_SEN0451_Gravity_Analog_Elektrischer_Leitfähigkeitssensor_PRO_K_1) (Zugriff am 24. Mai 2024).
73. Gusri, A.J.; Harmadi, H. Rancang Bangun Alat Penguras Air pada Wadah Penampungan Berbasis Trübungssensor SEN0189. *J. Fis. Unand* **2021**, *10*, 330–336. [CrossRef]



74. Jiang, J.; Tang, S.; Han, D.; Fu, G.; Solomatine, D.; Zheng, Y. A comprehensive review on the design and optimization of surface water quality monitoring networks. *Environ. Model. Softw. Environ. Data News* **2020**, *132*, 104792. [[CrossRef](#)]
75. Sendra, S.; Parra, L.; Jimenez, J.M.; Garcia, L.; Lloret, J. LoRa-basiertes Netzwerk zur Überwachung der Wasserqualität in Küstengebieten. *Mob. Netw. Appl.* **2023**, *28*, 65–81. [[CrossRef](#)]
76. Zourmand, A.; Hing, A.L.K.; Hung, C.W.; AbdulRehman, M. Internet of things (IoT) using LoRa technology. In Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS), Selangor, Malaysia, 29 June 2019; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2019; pp. 324–330.
77. Petrariu, A.I.; Lavric, A.; Coca, E. Lorawan gateway: Design, Implementierung und Test in realer Umgebung. In Proceedings of the 2019 IEEE 25th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), Cluj-Napoca, Romania, 23–26 October 2019; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2019; pp. 49–53.
78. Casado-Vara, R.; Prieto-Castrillo, F.; Corchado, J.M. A game theory approach for cooperative control to improve data quality and false data detection in WSN. *Int. J. Robust Nonlinear Control* **2018**, *28*, 5087–5102. [[CrossRef](#)]

**Haftungsausschluss/Hinweis des Herausgebers:** Die in allen Veröffentlichungen enthaltenen Aussagen, Meinungen und Daten sind ausschließlich die des/der jeweiligen Autors/Autoren und Mitwirkenden und nicht die von MDPI und/oder dem/den Herausgeber(n). MDPI und/oder der/die Herausgeber lehnen jede Verantwortung für Personen- oder Sachschäden ab, die sich aus Ideen, Methoden, Anweisungen oder Produkten ergeben, auf die im Inhalt Bezug genommen wird.

# **Schwerkraft\_\_Analog\_pH\_Sensor\_Meter\_Kit\_V2\_SKU\_SEN0161-V2-DFRoboter**

## **Einführung**

DFRobots Gravity: Analoges pH-Meter V2 wurde speziell entwickelt, um den pH-Wert einer Lösung zu messen und ihren Säuregehalt oder Alkalinität widerzuspiegeln. Dieser Sensor wird häufig in verschiedenen Anwendungen wie Aquaponik, Aquakultur und Umweltwassertests verwendet.

Als verbesserte Version des pH-Meters V1 verbessert dieses Produkt die Präzision und die Benutzererfahrung erheblich. Der integrierte Spannungsregler-Chip unterstützt die breite Spannungsversorgung von 3,3 ~ 5,5 V, die mit der Hauptsteuerplatine 5 V und 3,3 V kompatibel ist. Das Ausgangssignal wird von der Hardware gefiltert und hat einen niedrigen Gesamtjitter. Die Softwarebibliothek verwendet die Zweipunkt-Kalibrierungsmethode und kann automatisch zwei Standard-Pufferlösungen (4.0 und 7.0) identifizieren, wodurch der Sensor einfach und bequem ist. Sie können auch den Leitfaden zur Auswahl von Flüssigkeitssensoren überprüfen, um mit unserer Flüssigkeitssensorserie vertrauter zu werden.

Mit diesem Produkt, einer Hauptsteuerplatine (wie Arduino) und unserer Softwarebibliothek können Sie das pH-Meter schnell implementieren und sofort mit der Verwendung beginnen, ohne dass Sie schweißen, löten oder andere Änderungen durchführen müssen. DFRobot bietet eine Vielzahl von Wasserqualitätssensorprodukten mit einheitlichen Größen und Schnittstellen an, die nicht nur die Anforderungen verschiedener

Wasserqualitätstests erfüllen, sondern auch für die DIY von Multiparameter-Wasserqualitätstester geeignet sind.

Die pH-Messung einer Lösung ist ein Wert, der die genaue Säure oder Alkalinität der Lösung widerspiegelt. Er wird auch als Wasserstoffionenkonzentrationsindex bezeichnet. Der pH-Test ist eine Skala der Wasserstoffionenaktivität in einer Lösung. Der pH-Test hat eine breite Palette von Anwendungen in Medizin, Chemie und Landwirtschaft. Normalerweise liegt der pH-Wert zwischen 0 und 14. Unter thermodynamischen Standardbedingungen bedeutet ein pH-Wert = 7, dass die Lösung neutral ist, ein pH-Wert  $<7$  bedeutet, dass die Lösung sauer ist, und ein pH-Wert  $>7$  bedeutet, dass die Lösung alkalisch ist.

- 1. Der BNC-Anschluss und die Signalumwandlungsplatine müssen trocken und sauber gehalten werden, da dies die Eingangsimpedanz beeinträchtigt, was zu einer ungenauen Messung führt. Wenn es feucht ist, muss es getrocknet werden.**
- 2. Die Signalumwandlungsplatine kann nicht direkt auf einer nassen oder Halbleiteroberfläche platziert werden, da sie sonst die Eingangsimpedanz beeinflusst, was zu einer ungenauen Messung führt. Es wird empfohlen, die Nylonsäule zu verwenden, um die Signalumwandlungsplatine zu befestigen und einen bestimmten Abstand zwischen der Signalumwandlungsplatine und der angebrachten Oberfläche zuzulassen.**
- 3. Die empfindliche Glasblase im Kopf der pH-Sonde sollte das Berühren von hartem Material vermeiden. Schäden oder Kratzer führen dazu, dass die Elektrode versagt.**
- 4. Trennen Sie nach Abschluss der Messung die pH-Sonde von der Signalkonvertierungsplatine. Die pH-Sonde sollte nicht lange Zeit ohne Stromversorgung an die Signalumwandlungsplatine angeschlossen werden.**

## Spezifizierung

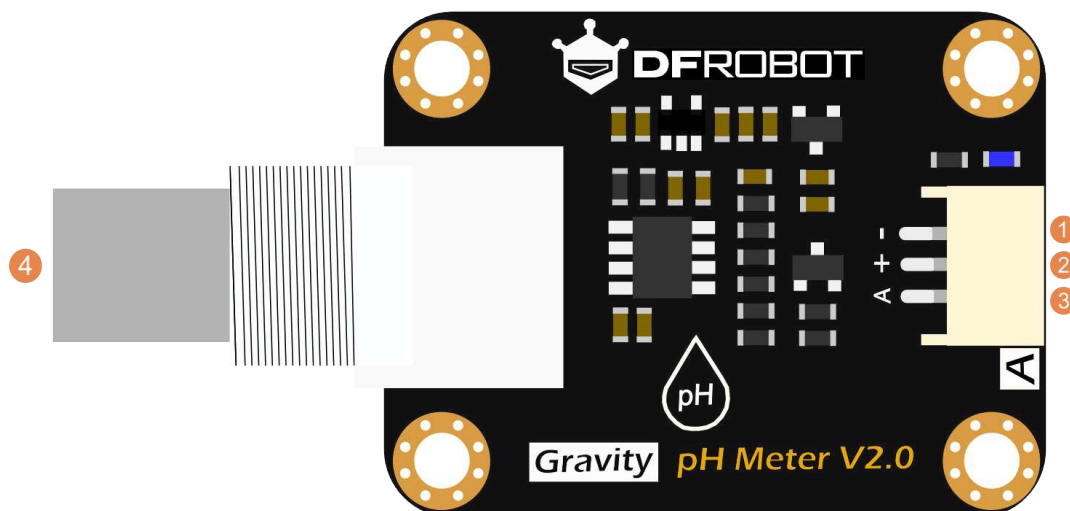
- **Signalumwandlungsplatine (Sender) V2**

- Versorgungsspannung: 3,3~5,5 V
- Ausgangsspannung: 0~3.0V
- Sondenanschluss: BNC
- Signalanschluss: PH2.0-3P
- Messgenauigkeit:  $\pm 0.1@25^{\circ}\text{C}$
- Abmessungen: 42mm\*32mm/1.66\*1.26in

## • pH-Sonde

- Sondentyp: Laborqualität
- Erfassungsbereich: 0~14
- Temperaturbereich: 5~60°C
- Nullpunkt:  $7\pm 0,5$
- Antwortzeit: <2min
- Innenwiderstand: <250M $\Omega$
- Lebensdauer der Sonde: >0,5 Jahr (abhängig von der Häufigkeit der Verwendung)
- Kabellänge: 100cm

## Übersicht des Boards



Num	Etikett	Beschreibung
1	-	Leistung GND(0V)
2	+	Leistung VCC(3,3~5,5V)
3	Ein	Analoger Signalausgang (0~3.0V)

# Tutorial

In diesem Tutorial wird gezeigt, wie man dieses pH-Meter zur Kalibrierung und Messung verwendet. Bitte lesen Sie jeden Schritt sorgfältig durch.

**Bevor Sie eine andere Lösung messen, stellen Sie sicher, dass Sie die Sonde waschen und Restwassertropfen mit Papier absorbieren, um eine Kreuzkontamination zwischen den Lösungen zu vermeiden. Die Sonde kann mit destilliertem Wasser gewaschen werden.**

## Anforderungen

- **Hardware**

- [DFRduino UNO R3](#) (oder ähnlich) x1
- pH-Signal-Konvertierungsplatine V2 x1
- pH-Sonde x1
- Standard-Pufferlösung 4,0 x1
- Standard-Pufferlösung 7,0 x1
- Gravity 3pin Sensorkabel (oder mehrere DuPont-Kabel) x1
- Testlösung x1

- **Software**

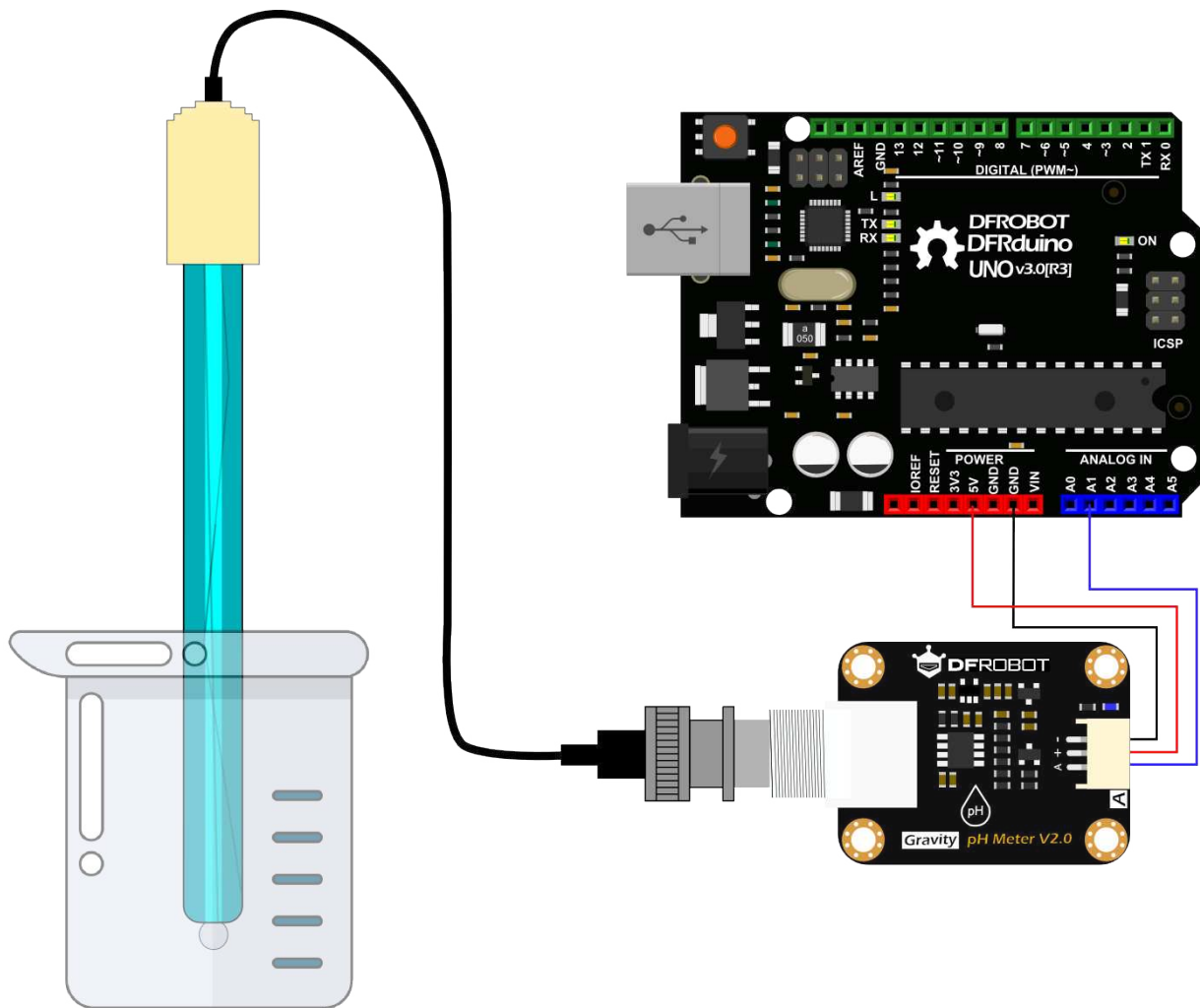
- Arduino IDE (Versionsanforderungen: V1.0.x oder V1.8.x), [Klicken Sie, um Arduino IDE von Arduino® herunterzuladen](#)

## Verbindungsdiagramm

Bevor Sie die pH-Sonde verwenden, ziehen Sie die Sonde aus der



Schutzkappe und verdrahten Sie sie dann wie unten gezeigt.  
Reinigen Sie die Sonde nach Abschluss der Messung und setzen Sie sie in die Schutzkappe ein.



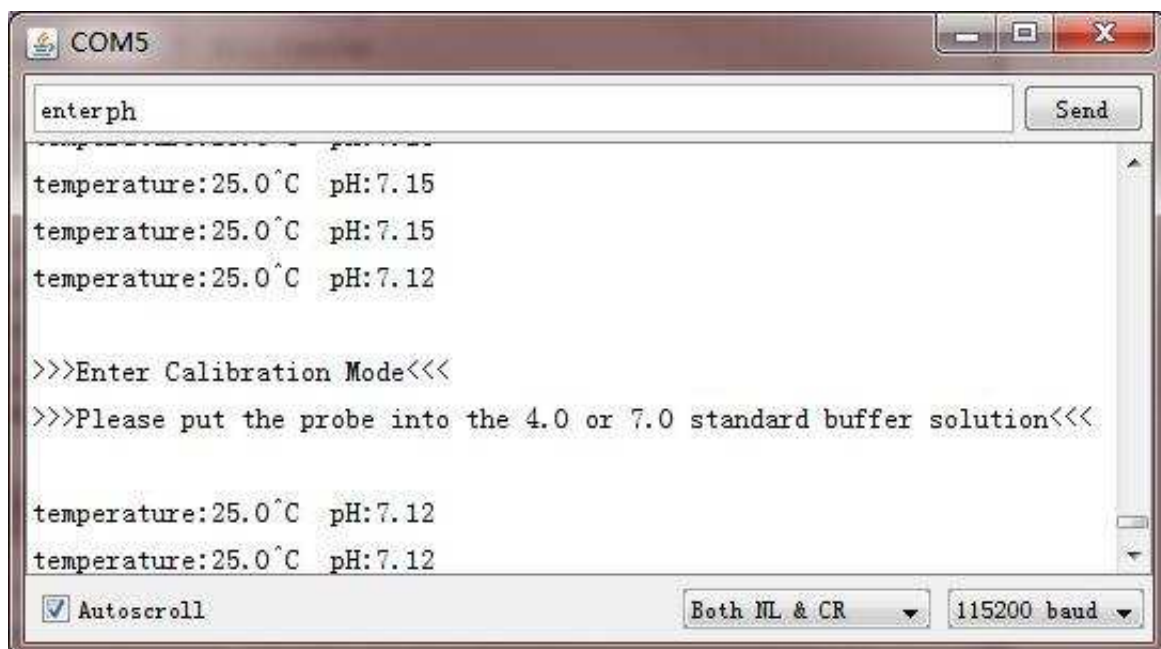
## Kalibrierung

Um die Genauigkeit zu gewährleisten, muss die Sonde für den ersten Gebrauch und nach längerer Zeit (idealerweise einmal im Monat) kalibriert werden. Dieses Tutorial verwendet eine Zwei-Punkt-Kalibrierung und erfordert daher zwei Standard-Pufferlösungen von 4.0 und 7.0. Die folgenden Schritte zeigen, wie die Zwei-Punkt-Kalibrierung durchgeführt wird.

- **1. Laden Sie den Beispielcode auf das Arduino-Board**

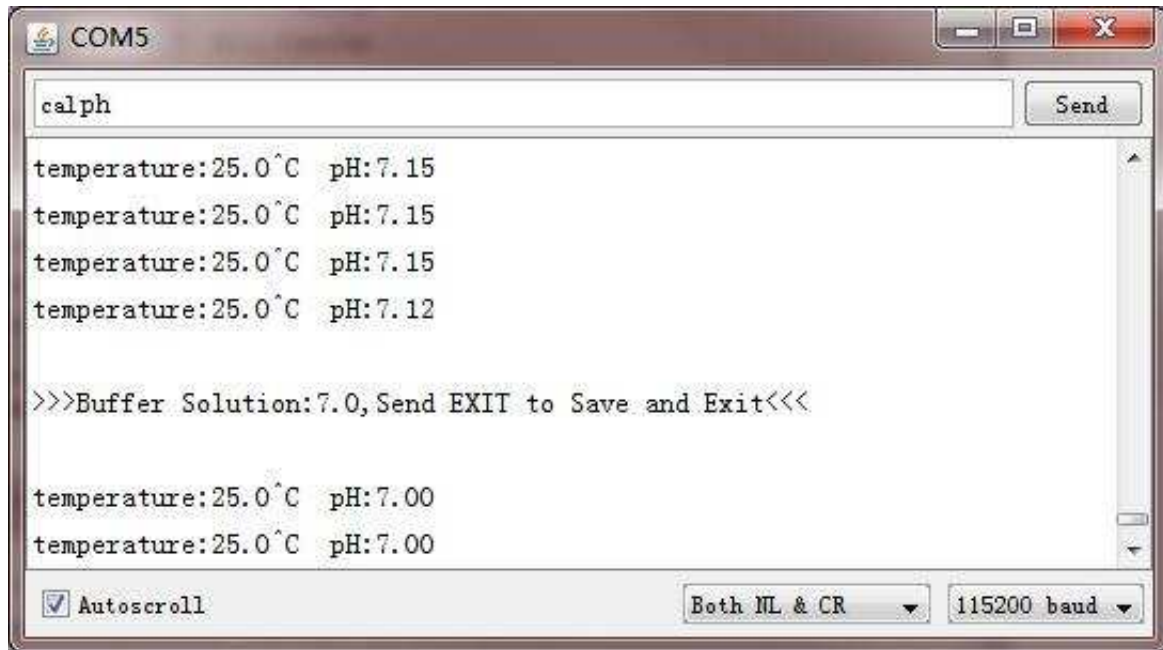
**hoch und öffnen Sie dann den seriellen Monitor, nachdem Sie die Temperatur und den pH-Wert sehen können. Wenn Sie einen Temperatursensor hinzugefügt haben, stellen Sie sicher, dass Sie die entsprechende Funktion aufschreiben und sie aufrufen.**

- **2. Waschen Sie die Sonde mit destilliertem Wasser und nehmen Sie dann die restlichen Wassertropfen mit Papier auf. Führen Sie die pH-Sonde in die Standardpufferlösung von 7,0 ein und rühren Sie sie vorsichtig um, bis die Werte stabil sind.**
- **3. Nachdem die Werte stabil sind, kann der erste Punkt kalibriert werden. Die spezifischen Schritte sind wie folgt:**
  - 1. Input `enterph` command in the serial monitor to enter the calibration mode.

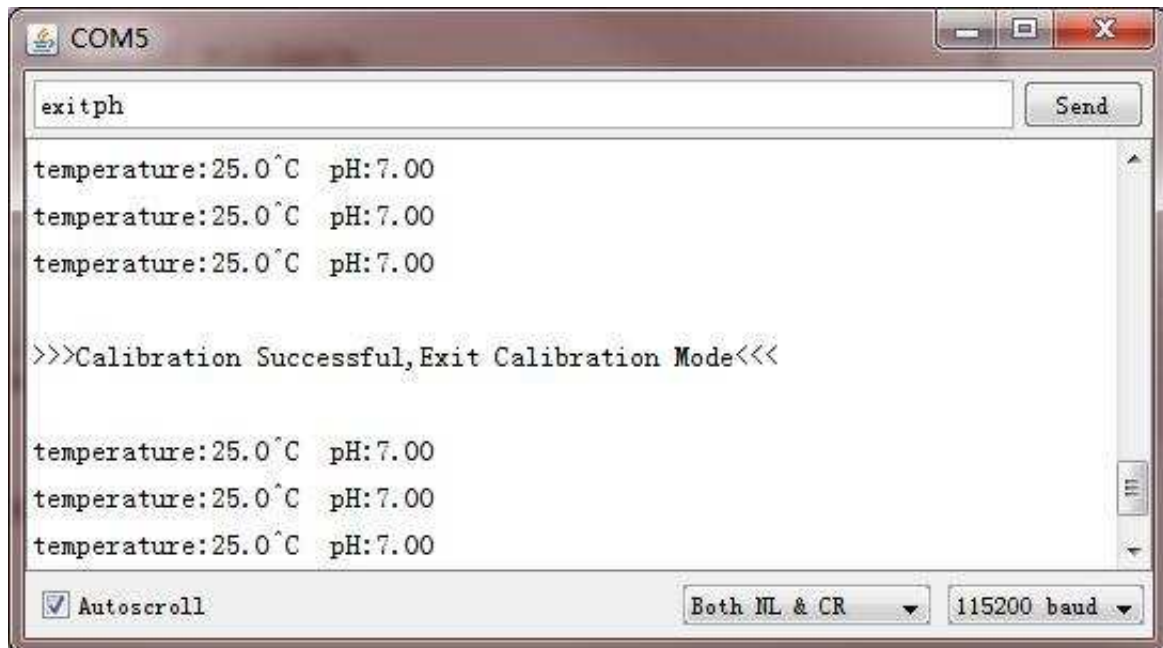


- **2. Geben Sie `calph`-Befehle im seriellen Monitor ein, um die Kalibrierung zu starten. Das Programm identifiziert automatisch, welche der beiden Standardpufferlösungen vorhanden ist: entweder 4.0 oder 7.0. In diesem Schritt wird**

die Standardpufferlösung von 7.0 identifiziert.



- 3. After the calibration, input `exitph` command in the serial monitor to save the relevant parameters and exit the calibration mode. **Note: Only after inputting `exitph` command in the serial monitor can the relevant parameters be saved.**



- 4. Nach den oben genannten Schritten wird die erste Punktkalibrierung abgeschlossen. Die Kalibrierung des zweiten Punktes wird unten durchgeführt.

- **4. Waschen Sie die Sonde mit destilliertem Wasser und nehmen Sie dann die restlichen Wassertropfen mit Papier auf. Führen Sie die pH-Sonde in die Standardpufferlösung von 4,0 ein, rühren Sie vorsichtig um, bis die Werte stabil sind.**
- **5. Nachdem die Werte stabil sind, kann der zweite Punkt kalibriert werden. Diese Schritte sind die gleichen wie der erste Kalibrierungsschritt. Die spezifischen Schritte sind wie folgt:**
  - 1. Input `enterph` command in the serial monitor to enter the calibration mode.
  - 2. Geben Sie `calph`-Befehle im seriellen Monitor ein, um die Kalibrierung zu starten. Das Programm identifiziert automatisch, welche der beiden Standardpufferlösungen vorhanden ist: entweder 4.0 und 7.0 In diesem Schritt wird die Standardpufferlösung von 4.0 identifiziert.
  - 3. After the calibration, input the `exitph` command in the serial monitor to save the relevant parameters and exit the calibration mode. **Note: Only after inputting `exitph` command in the serial monitor can the relevant parameters be saved.**
  - 4. Nach den obigen Schritten wird die Kalibrierung des zweiten Punktes abgeschlossen.
    - **6. Nach Abschluss der oben genannten Schritte ist die Zwei-Punkte-Kalibrierung abgeschlossen, und dann kann der Sensor für die eigentliche Messung verwendet werden. Die relevanten Parameter im Kalibrierungsprozess wurden im EEPROM der Hauptsteuerplatine gespeichert.**

# Beispielcode

Bitte laden Sie zuerst [die DFRobot\\_PH-Bibliothek herunter](#) und installieren Sie sie dann. [Wie installiere ich Bibliotheken in Arduino IDE?](#)

```
#include "DFRobot_PH.h"
#include <EEPROM.h>

#define PH_PIN A1
float voltage,phValue,temperature = 25;
DFRobot_PH ph;

void setup()
{
    Serial.begin(115200);
    ph.begin();
}

void loop()
{
    static unsigned long timepoint = millis();
    if(millis()-timepoint>1000U){
        timepoint = millis();

        voltage = analogRead(PH_PIN)/1024.0*5000;
        phValue = ph.readPH(voltage,temperature);
        Serial.print("temperature:");
        Serial.print(temperature,1);
        Serial.print("^C  pH:");
        Serial.println(phValue,2);
    }
    ph.calibration(voltage,temperature);
}

float readTemperature()
```



{

}

## FAQ

### **Q1 Wie lange muss die Sonde kalibriert werden?**

A2 Das Kalibrierungsintervall wird durch die Häufigkeit der Verwendung bestimmt. Normalerweise können Sie es einmal im Monat kalibrieren. Bei häufiger Verwendung kann es einmal pro Woche kalibriert werden. Bei der Kalibrierung wird eine frische Standardpufferlösung empfohlen.

### **Q2 Ist es notwendig, während der Kalibrierung zwei Punkte zu kalibrieren? Kann ich nur eine Punktkalibrierung abschließen?**

A2 Bei geringer Nachfrage können Sie die neutrale Standardpufferlösung (7.0) zur Kalibrierung verwenden, die als Einzelpunktkalibrierung bezeichnet wird und zur Bestätigung des tatsächlichen Nullpunkts der pH-Sonde verwendet wird. An diesem Punkt ist die Steigung der theoretische Wert. Dann kann die tatsächliche Neigung der pH-Sonde durch Kalibrierung mit Standardpufferlösung (4.0) nach der Signalpunktkalibrierung bestätigt werden. Um die Messgenauigkeit zu gewährleisten, wird daher empfohlen, eine Zwei-Punkt-Kalibrierung zu verwenden.

### **Q3 Was könnte der Grund für die erste Kalibrierung sein, die immer fehlschlägt, zu kalibrieren oder den Wert für Ausnahmen zu drucken?**

A3 Bei der Kalibrierung werden die relevanten Parameter an der angegebenen Position in EEPROM gespeichert. Wenn andere Daten zuvor in der gleichen Position in EEPROM gespeichert wurden, kann es zu einem Konflikt kommen, der zu einer Unfähigkeit zur ordnungsgemäßen Kalibrierung führt. Verwenden Sie den folgenden Code, um den Inhalt an der angegebenen Position in EEPROM zu löschen. Führen Sie es einmal aus, und laden Sie dann den Beispielcode erneut hoch, um die Kalibrierung neu zu starten.

```
#include <EEPROM.h>
#define PHADDR 0x00
void setup()
```

```

{
  Serial.begin(115200);
  for(int i = 0; i < 8; i++ )
  {
    EEPROM.write(PHADDR+i, 0xFF);
    delay(10);
  }
}

void loop()
{
  static int a = 0, value = 0;
  value = EEPROM.read(PHADDR+a);
  Serial.print(PHADDR+a, HEX);
  Serial.print(":");
  Serial.print(value);
  Serial.println();
  delay(10);
  a = a + 1;
  if (a == 8)
    while(1);
}

```

**Für Fragen, Ratschläge oder coole Ideen, die Sie teilen möchten, besuchen Sie bitte das [DFRobot-Forum](https://www.dfrobot.com/forum/).**

## Hinweise zur Wartung der pH-Sonde

1. Wenn die Sonde zum ersten Mal oder für einige Zeit verwendet wird, muss die Sonde 8 Stunden lang in die 3NKCL-Lösung eingetaucht werden.

2. Die Glasblase im Kopf der pH-Sonde (im Kunststoffschutzgitter) darf nicht mit den harten Gegenständen in Kontakt kommen, und jeder Bruch oder Reiben macht die Sonde ungültig.

3. Wenn die Messung abgeschlossen ist, sollte die Schutzkappe aufgelegt und eine kleine Menge 3mol/L KCL-Lösung in die Schutzkappe gelegt werden, um die Glasbirne feucht zu

halten.

4. Der Stecker der pH-Sonde muss sauber und trocken gehalten werden, um unbedingt zu verhindern, dass die Ausgangsenden kurzgeschlossen werden, da dies sonst zu einer ungenauen Messung oder einem Ausfall der Sonde führt.
5. Die Sonde sollte ein längeres Eintauchen in destilliertes Wasser, Protein und saure Fluoridlösung vermeiden und den Kontakt mit Silikonöl verhindern.
6. Wenn Sie nach längerem Gebrauch feststellen, dass der Prozentsatz der theoretischen Neigung der Sonde (PTS) leicht reduziert ist, können Sie das untere Ende der Sonde für 3-5 Sekunden in 4%HF (Fluorolsäure) einweichen, mit destilliertem Wasser waschen und dann einige Stunden in der 0,1MOL/L HCL-Lösung einweichen und mit entionisiertem Wasser abspülen.
7. Die Sonden werden durch das Vorhandensein von kontaminationsempfindlichen Glühbirnen in der Lösung unter Testbedingungen oder durch Verschließen der Flüssigkeitsgrenze passiviert. Das Phänomen ist, dass die theoretische Steigung (PTS) reduziert ist, die Reaktionszeit lang ist und die Messwerte instabil sind. Daher sollten sie je nach Art der Schadstoffe mit einer geeigneten Lösung gereinigt werden, um sie frisch zu machen.
8. Bei der Auswahl des Reinigungsmittels sollte darauf geachtet werden. Die lösliche Polycarbonat-Reinigungsflüssigkeit, wie Tetrachlorkohlenstoff, Trichlorethylen, vier Furane und so weiter, kann die Oberfläche der Glaskugelblasen auf der Glaskugel versagen, bitte verwenden Sie diese mit großer Vorsicht!

## Weitere Dokumente

- [PCB-Layout mit Dimension](#))

- [DFRobot\\_PH-Bibliothek \(Github\)](#)
- [Alte Version Wiki\(V1\)](#)

# Einführung

Der [Schwerkraft-Trübungssensor Arduino](#) erkennt die Wasserqualität, indem er die Trübungsgrade oder die Undurchsichtigkeit misst. Es verwendet Licht, um suspendierte Partikel in Wasser zu erkennen, indem es die Lichtdurchlässigkeit und die Streurate misst, die sich mit der Menge der gesamten suspendierten Feststoffe (TSS) im Wasser ändert. Wenn der TTS zunimmt, steigt der Flüssigkeitstrübungsgrad. Trübungssensoren werden zur Messung der Wasserqualität in Flüssen und Bächen, Abwasser- und Abwassermessungen, Kontrollinstrumenten für die Ablagerung von Teichen, Sedimenttransportforschung und Labormessungen verwendet. Dieser [Flüssigkeitssensor](#) bietet analoge und digitale Signalausgabemodi. Der Schwellenwert ist im digitalen Signalmodus einstellbar. Sie können den Modus entsprechend Ihrer MCU auswählen.



**HINWEIS:** Die Oberseite der Sonde ist nicht wasserdicht.

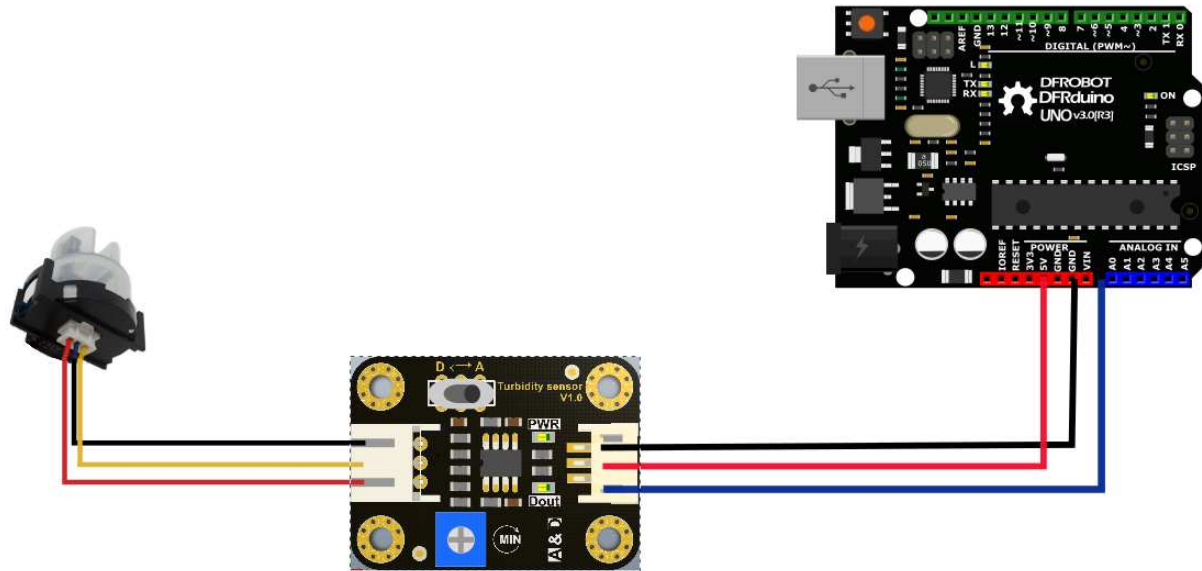
## Spezifizierung

- Betriebsspannung: 5V DC
- Betriebsstrom: 40mA (MAX)
- Reaktionszeit: <500ms
- Isolationswiderstand: 100M (Min.)
- Ausgabemethode:
  - Analogausgang: 0-4,5 V
  - Digitalausgabe: Hoch-/Niedriges Signal (Sie können den Schwellenwert durch Anpassen des Potentiometers anpassen)
- Betriebstemperatur: 5°C~90°C
- Lagertemperatur: -10°C~90°C
- Gewicht: 30 g



- Abmessungen des Adapters: 38 mm \* 28 mm \* 10 mm / 1,5 Zoll \* 1,1 Zoll \* 0,4 Zoll

## Verbindungsdiagramm



## Beschreibung der Benutzeroberfläche:

1. "D/A" Ausgangssignalschalter
  1. "A": Analoge Signalausgabe, der Ausgangswert nimmt ab, wenn in Flüssigkeiten mit hoher Trübung
  2. "D": Digitale Signalausgabe, hohe und niedrige Werte, die durch das Schwellenpotentiometer eingestellt werden können
2. Schwellenpotentiometer: Sie können die Auslösebedingung ändern, indem Sie das Schwellenwertpotentiometer im digitalen Signalmodus anpassen.

## Beispiele

Hier sind zwei Beispiele: Beispiel 1 verwendet den analogen Ausgabemodus Beispiel 2 verwendet den digitalen Ausgabemodus

### Beispiel 1

```

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  int sensorValue = analogRead(A0);
  float voltage = sensorValue * (5.0 / 1024.0);
  Serial.println(voltage);
  delay(500);
}

```

## Beispiel 2

```

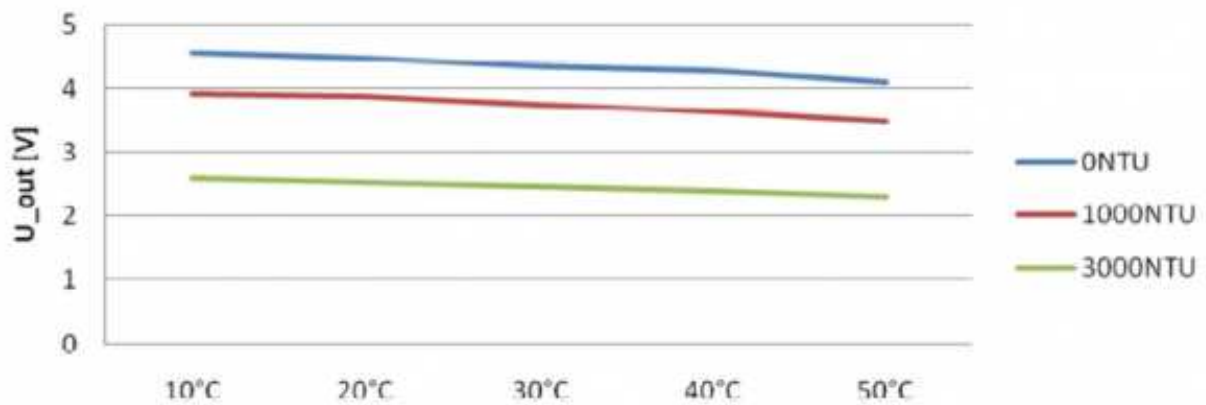
int ledPin = 13;
int sensor_in = 2;

void setup(){
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
  pinMode(sensor_in, INPUT);
}

void loop(){
  if(digitalRead(sensor_in)==LOW){
    digitalWrite(ledPin, HIGH);
  }
  else{
    digitalWrite(ledPin, LOW);
  }
}

```

**Dies ist eine Referenztafel für die Zuordnung von der Ausgangsspannung zur NTU entsprechend unterschiedlicher Temperatur. z.B. Wenn Sie den Sensor im reinen Wasser lassen, das NTU < 0,5 ist, sollte er "4.1±0.3V" ausgeben, wenn die Temperatur 10~50°C beträgt.**



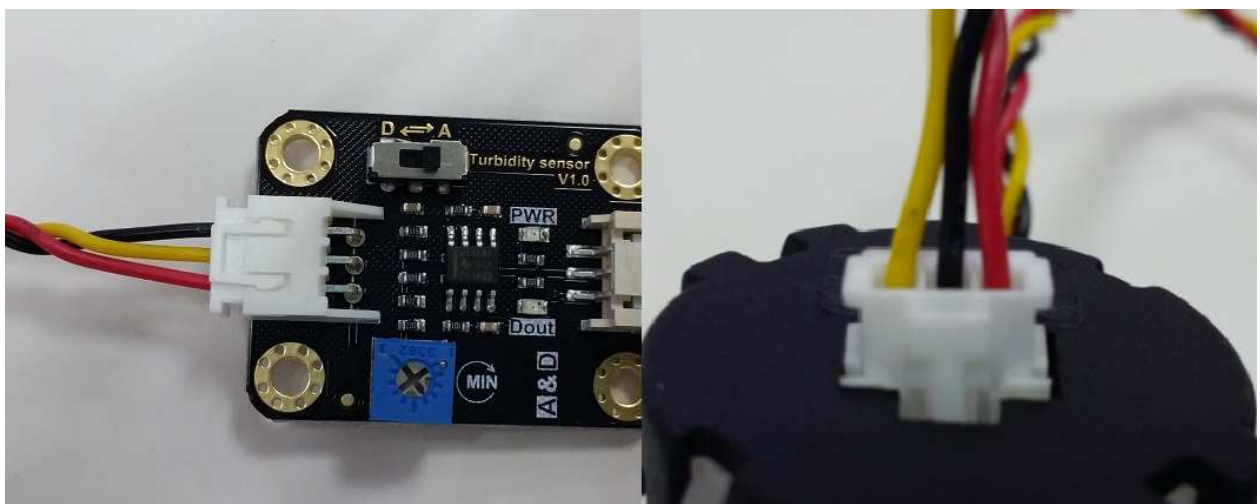
**HINWEIS:** Im Diagramm wird die Einheit, die die Trübung misst, als NTU angezeigt, auch als JTU (Jackson Turbidity Unit), 1JTU = 1NTU = 1 mg/L. Siehe [Turbidity wikipedia](https://de.wikipedia.org/wiki/Turbidit%C3%A4t)

## FAQ

**Fragen und Antworten:** Einige allgemeine Arduino-Probleme/FAQ/Tipps

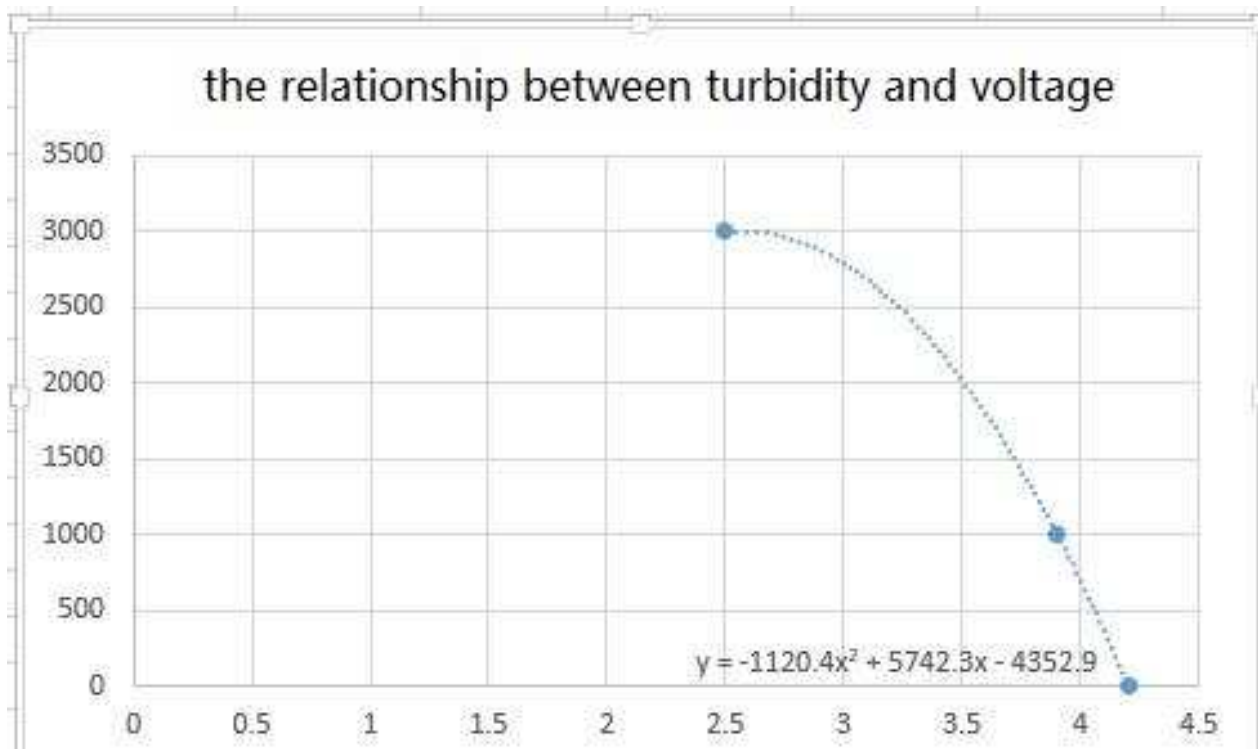
**F1:** Hallo, ich bekomme immer 0,04 im seriellen Anschluss, und es gibt keine Änderung, selbst wenn ich die Übertragungsröhre blockiere.

**A:** Hallo, bitte überprüfen Sie das Sondenanschlusskabel, wenn Sie es mit einer falschen Seite anschließen, funktioniert es nicht.



## Q2: Die Beziehung zwischen Trübung und Spannung

**A:**



Für Fragen, Ratschläge oder coole Ideen, die Sie teilen möchten, besuchen Sie bitte das [DFRobot-Forum](#).

## FAQ

Für Fragen, Ratschläge oder coole Ideen, die Sie teilen möchten, besuchen Sie bitte das [DFRobot-Forum](#).

## Mehr Dokumentation

- [Schematisch](#)
- [Sonde\\_Dimension](#)
- [Adapter\\_Dimension](#)
- [Datenblatt](#)

# Trübungssensor

## Einführung

Dieser berührungslose Trübungssensor erfasst die Wasserqualität, indem er den Grad der Trübung misst. Basierend auf dem optischen Prinzip ist es in der Lage, die Lichtdurchlässigkeit und die Streurate der Flüssigkeit in transparenten Zylinderbehältern mit einem Durchmesser von 40-50 mm zu erfassen, die dann als analoger Wert innerhalb eines bestimmten Bereichs ausgegeben werden, der die Flüssigkeitstrübung widerspiegelt.

Der Trübungssensor wird mit zwei Infrarotsonden geliefert, die gegenüber auf einem Behälter installiert werden sollten. Und es beginnt zu erkennen, wenn der Flüssigkeitsstand im Inneren höher ist als bei den beiden Sonden. Der Sensor kann messen, ohne Flüssigkeit zu berühren, was bedeutet, dass er weniger anfällig für Schäden durch Wasser oder chemische Korrosion ist.

## Spezifizierung

- Betriebsspannung: 5V
- Betriebsstrom: <10mA(Max)
- Antwortzeit: <1s (VDD=5V Ta=25°C)
- Betriebstemperatur: 5-60°C
- Lagertemperatur: 0-65°C
- Lebensdauer: 50000h (VDD=5V Ta=25°C)
- Kommunikationsmodus: TTL



1. Baud-Rate: 9600

2. Datenbit: 8bit

3. Paritätsbit: keine

4. Anschlagbit: 1 Bit

## Kommunikationsprotokoll

<b>Controller(Master)- Protokollformat:</b>	<b>Rahmen- Kopfzeile</b>	<b>Datenlänge</b>	<b>Befehl schreiben</b>	<b>Be- Le</b>
Peripherie (Slave) Protokollformat	Rahmen- Kopfzeile	Datenlänge	Befehlsantwort schreiben	Da
Controller liest schmutzige Daten	0X18	0X05	0X00	0)
Peripherie sendet Daten	0X18	0X05	0X00/0XAA	0)
Peripherie liest AD- Daten	0X18	0X05	0X00	0)
Peripherie sendet AD- Wert	0X18	0X05	0X00/0XAA	0) 0) 0)
Controller- Kalibrierung	0X18	0X05	0x55	0)
Kalibrierung der Übertragung erfolgreich	0X18	0X05	0XAA	0)
Controller klärt Kalibrierung	0X18	0X05	0X5A	0)
Kalibrierungslöschung erfolgreich	0X18	0X05	0X00	0)

## Verbindungsdiagramm

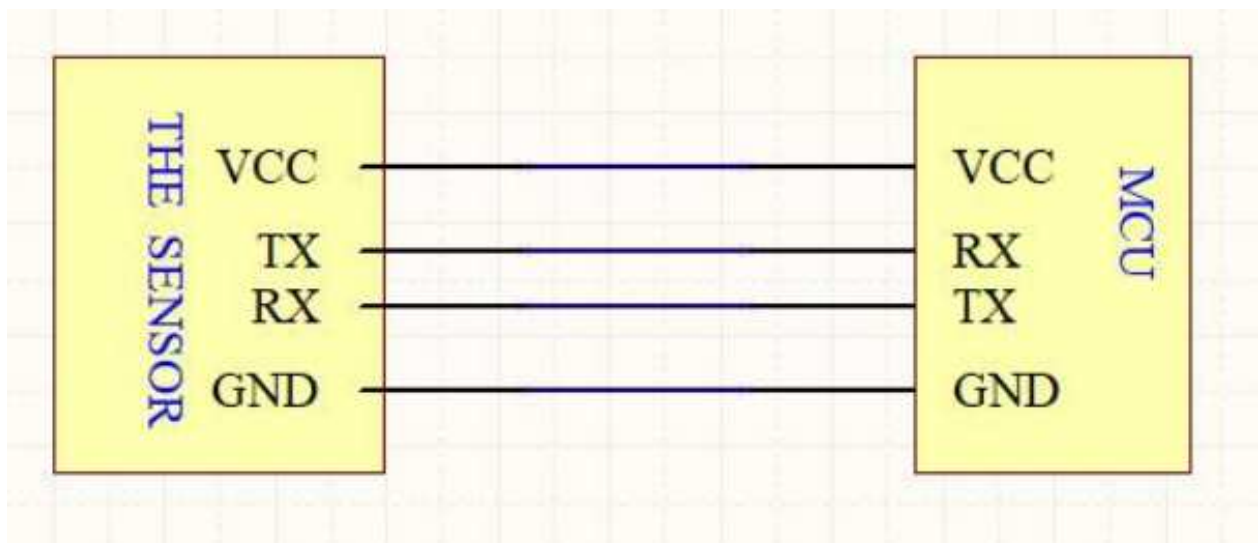
Der Sensor kommuniziert mit dem MCU über TTL und überträgt

die Daten über den seriellen Anschluss, nachdem verschiedene Trübungsdaten erkannt wurden.

## Definition der Sensorverdrahtungssequenz

Schwarz=GND Blau=TX Rot=VCC Weiß=RX

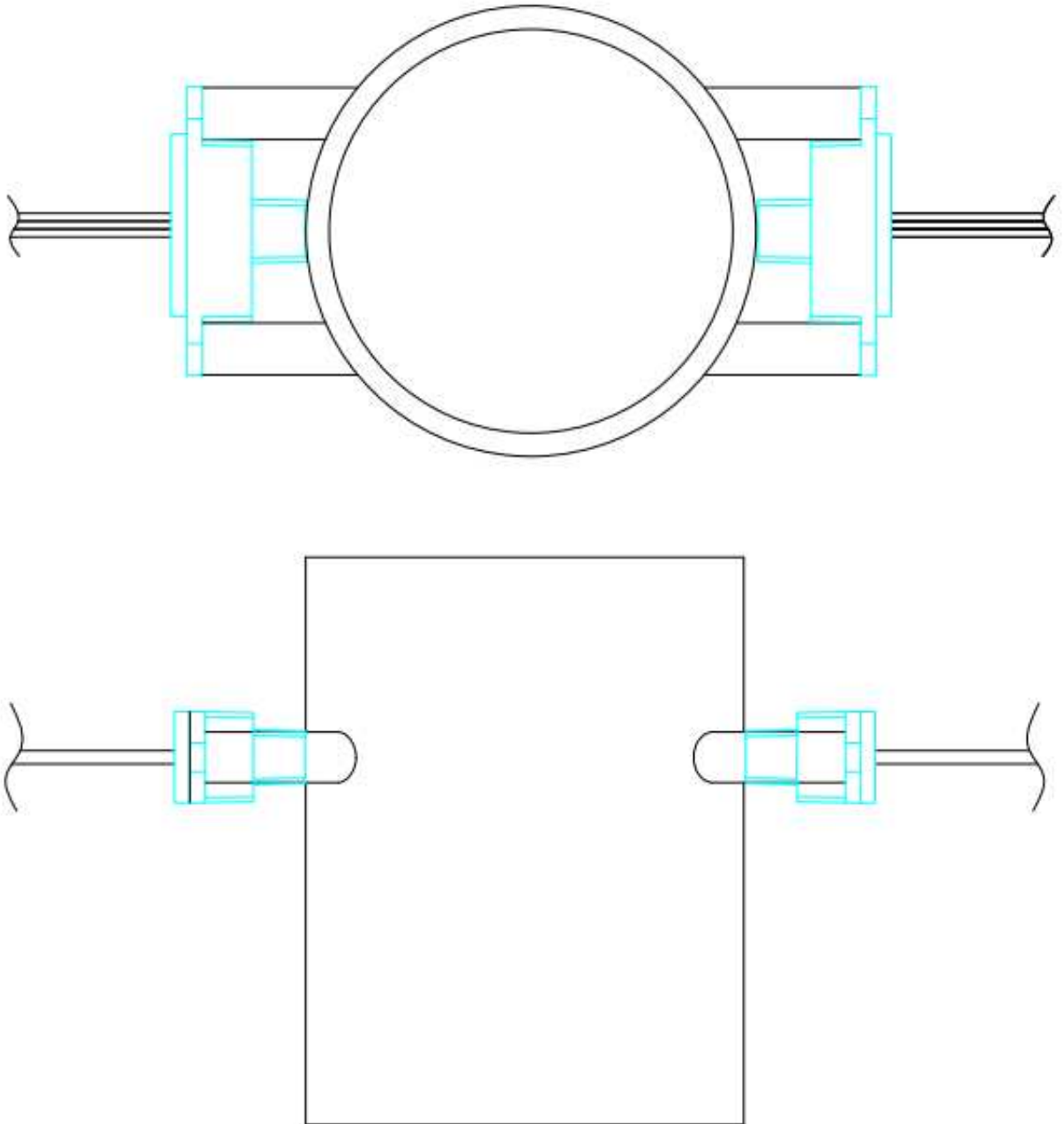
Empfohlenes Verbindungsdiagramm



Hier verbinden wir den Sensor mit der UNO-Platine mit Gravity: 4Pin Sensor Adapter und Gravity-4P Kabel (PH2.0 auf 2,54 DuPont Buchse). Die Verbindungen sind wie in der folgenden Tabelle gezeigt.

Sensor	Adapter	EINS
GND	GND	GND
VCC	VOUT	VCC
RX	IO1	11 (TX)
TX	IO2	12 (RX)

## Installation



Die beiden Sonden sollten gegenüber auf einem transparenten Behälter befestigt werden.

## Tutorial

### Hardware

- DFRduino UNO R3 (oder ähnlich) × 1
- Trübungssensor × 1
- Schwerkraft: 4Pin Sensor Adapter × 1
- Micro-USB-Kabel × 1

- Gravity-4P Kabel (PH2.0 auf 2,54 DuPont Buchse) × 1

## Software

- [Arduino IDE](#)

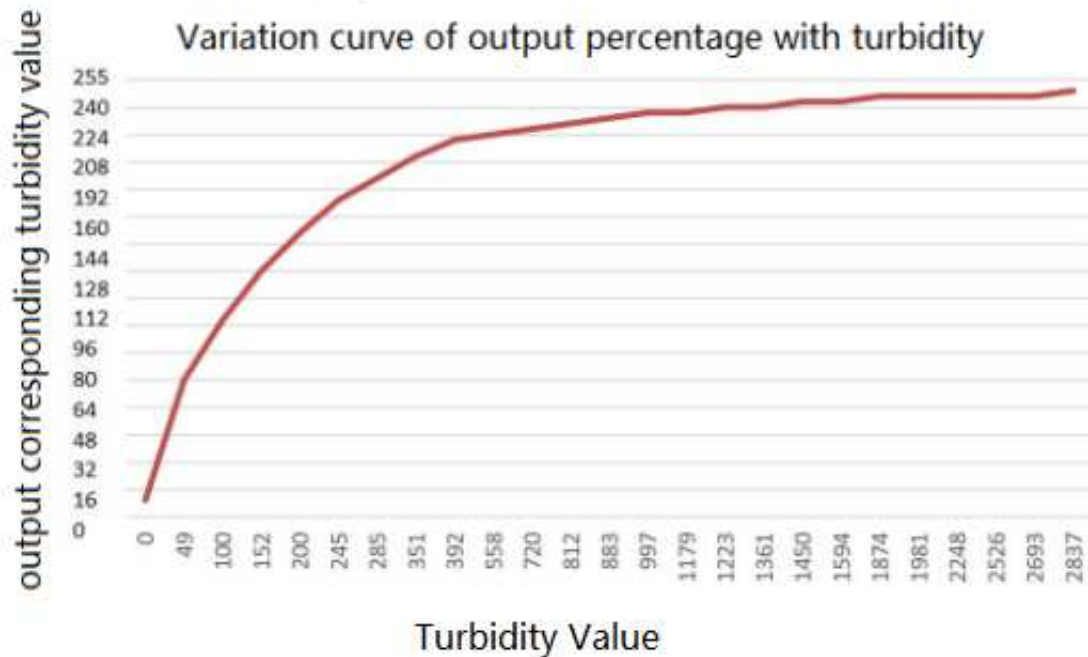
## Beispielcode

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial mySerial(10, 11); // RX, TX
unsigned char str[5] = { }; //Serial receives data
unsigned char col;
unsigned int distance = 0;
unsigned char a[5] = {
    0x18,0x05, 0x00, 0x01 ,0x0D
};
void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    mySerial.begin(9600);
}
void loop() {
    mySerial.write(a, 5);
    while (!mySerial.available());
    while (mySerial.available() > 0) //Detect if there is data on serial p
    {
        for (int i = 0; i < 5; i++)
        {
            str[i]=mySerial.read();
            delay(5);
        }
        Serial.println(str[3],DEC);
        mySerial.flush();
    }
    delay(500);
}
```

# FAQ

1. Wie spiegelt der Sensorausgang die Flüssigkeitstrübung wider?

Die Beziehung zwischen der Sensorausgabe und der Trübung wird als Kurve unten dargestellt.



Für weitere Fragen, Ratschläge oder coole Ideen, die Sie teilen möchten, besuchen Sie bitte das [DFRobot-Forum](https://wiki.dfrobot.com/SKU_SEN0554_Turbidity_Sensor).

## Weitere Dokumente

# **Gravity\_\_Analog\_Dissolved\_Oxygen\_Sensor\_SKU\_SEN0237-DFRobot**

## **Einführung**

Es gibt ein altes Sprichwort über die Haltung von Fischen: "Guter Fisch verdient gutes Wasser". Gute Wasserqualität ist sehr wichtig für aquatische Organismen. Gelöster Sauerstoff ist einer der wichtigen Parameter, um die Wasserqualität widerzuspiegeln. Niedriger gelöster Sauerstoff im Wasser führt zu Atembeschwerden für Wasserorganismen, was das Leben dieser Tiere gefährden kann. Wir haben ein neues Open-Source-Kit für gelösten Sauerstoffsensor auf den Markt gebracht, das mit Arduino kompatibel ist. Dieses Produkt wird verwendet, um den gelösten Sauerstoff im Wasser zu messen, der wiederum die Wasserqualität widerspiegelt. Es wird häufig in vielen Anwendungen zur Wasserqualität eingesetzt, wie z. B. Aquakultur, Umweltüberwachung, Naturwissenschaften und so weiter. Mit diesem Sensor-Kit können Sie schnell Ihren eigenen Detektor mit gelöstem Sauerstoff aufbauen. Die Sonde ist eine galvanische Sonde, die keine Polarisationszeit benötigt und daher jederzeit gemessen werden kann. Die Fülllösung und die Membrankappe sind austauschbar, was zu den niedrigen Wartungskosten führt. Die Signalwandlerplatine ist Plug-and-Play und hat eine gute Kompatibilität. Es kann leicht in jedes Steuer- oder Detektionssystem integriert werden. Dieses Produkt ist einfach zu bedienen und hat eine große Kompatibilität. Mit Open-Source-Code und detailliertem Tutorial eignet sich dieses



Produkt sehr gut für Ihre Wasserprojekte zur Erkennung der Konzentration gelöster Sauerstoff für Wasserorganismen.

**Die Fülllösung ist 0,5 mol/L NaOH-Lösung. Sie müssen es vor der Verwendung in die Membrankappe gießen. Bitte seien Sie bei diesem Vorgang vorsichtig, da die Lösung ätzend ist. Bitte tragen Sie Handschuhe! Wenn die Lösung versehentlich auf die Haut fällt, waschen Sie Ihre Haut sofort mit viel Wasser.**

**Die sauerstoffdurchlässige Membran in der Membrankappe ist empfindlich und zerbrechlich. Seien Sie vorsichtig, wenn Sie damit umgehen. Fingernägel und andere scharfe Gegenstände sollten vermieden werden.**

**Der DO-Sensor verbraucht während der Messung ein wenig Sauerstoff. Bitte rühren Sie die Lösung vorsichtig um und lassen Sie den Sauerstoff gleichmäßig im Wasser verteilen.**

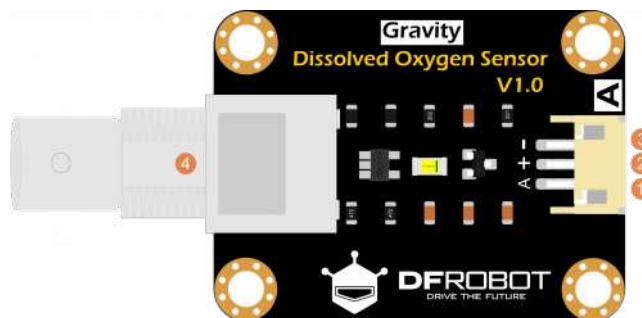
## Spezifizierung

- **Löse Sauerstoffsonde**

- Typ: Galvanische Sonde
- Nachweisbereich: 0~20 mg/L
- Temperaturbereich: 0~40 °C
- Reaktionszeit: Bis zu 98 % volle Antwort innerhalb von 90 Sekunden (25°C)
- Druckbereich: 0~50 PSI
- Lebensdauer der Elektrode: 1 Jahr (normaler Gebrauch)
- Wartungsdauer:
  - Membrankappen-Austauschzeitraum:
    - 1~2 Monate (in schlammigem Wasser);
    - 4~5 Monate (in sauberem Wasser)
  - Ersatzzeitraum für die Füllungslösung: Einmal im Monat
- Kabellänge: 2 Meter

- Sondenanschluss: BNC
- **Signalumrichterplatine**
  - Versorgungsspannung: 3,3~5,5 V
  - Ausgangssignal: 0~3.0V
  - Kabelanschluss: BNC
  - Signalanschluss: Gravity Analog Interface (PH2.0-3P)
  - Abmessungen: 42 mm \* 32 mm/1,65 \* 1,26 Zoll

## Übersicht des Boards



Nein.	Etikett	Beschreibung
1	Ein	Analoge Signalausgabe (0~3.0V)
2	+	VCC (3,3~5,5V)
3	-	GND
4	BNC	Sondenkabel-Anschluss

## Tutorial

Dieses Tutorial zeigt Ihnen, wie Sie dieses gelöste Sauerstoffsensor-Kit verwenden. Die Lösauerstoffsonde ist ein elektrochemischer Präzisionssensor. Bitte beachten Sie die Nutzungsdetails.

**Vor der Verwendung der gelösten Sauerstoffsonde sollte 0,5 mol/L NaOH-Lösung als Fülllösung der Sonde in die Membrankappe gegeben werden. Da die NaOH-Lösung eine**

**starke Korrosivität hat, sollten vor dem Umgang mit der Lösung Schutzhandschuhe angelegt werden. Wenn die Lösung versehentlich auf die Haut fällt, waschen Sie Ihre Haut sofort mit viel Wasser.**

**Die sauerstoffdurchlässige Membran in der Membrankappe ist empfindlich und anfällig. Seien Sie vorsichtig, wenn Sie damit umgehen. Fingernägel und andere scharfe Gegenstände sollten vermieden werden.**

**Während des Messvorgangs verbraucht die Sauerstoffsonde ein wenig Sauerstoff. Sie müssen das Wasser vorsichtig umrühren und den Sauerstoff gleichmäßig im Wasser verteilen lassen. Auf der anderen Seite nicht heftig umrühren, um zu verhindern, dass der Sauerstoff in der Luft schnell ins Wasser gelangt.**

## **Anforderungen**

- **Hardware**

- Lösauerstoffsonde (mit Membrankappe) x 1
- 0,5 mol/L NaOH-Lösung x 1
- [DFRduino UNO R3](#) (oder ähnlich) x 1
- Signalumrichterplatine für gelösten Sauerstoff x 1
- Analogkabel (3Pin) x 1

- **Software**

- Arduino IDE (Versionsanforderungen: V1.0.x, V1.6.x oder V1.8.x), [Klicken Sie hier, um Arduino IDE von Arduino® herunterzuladen](#)

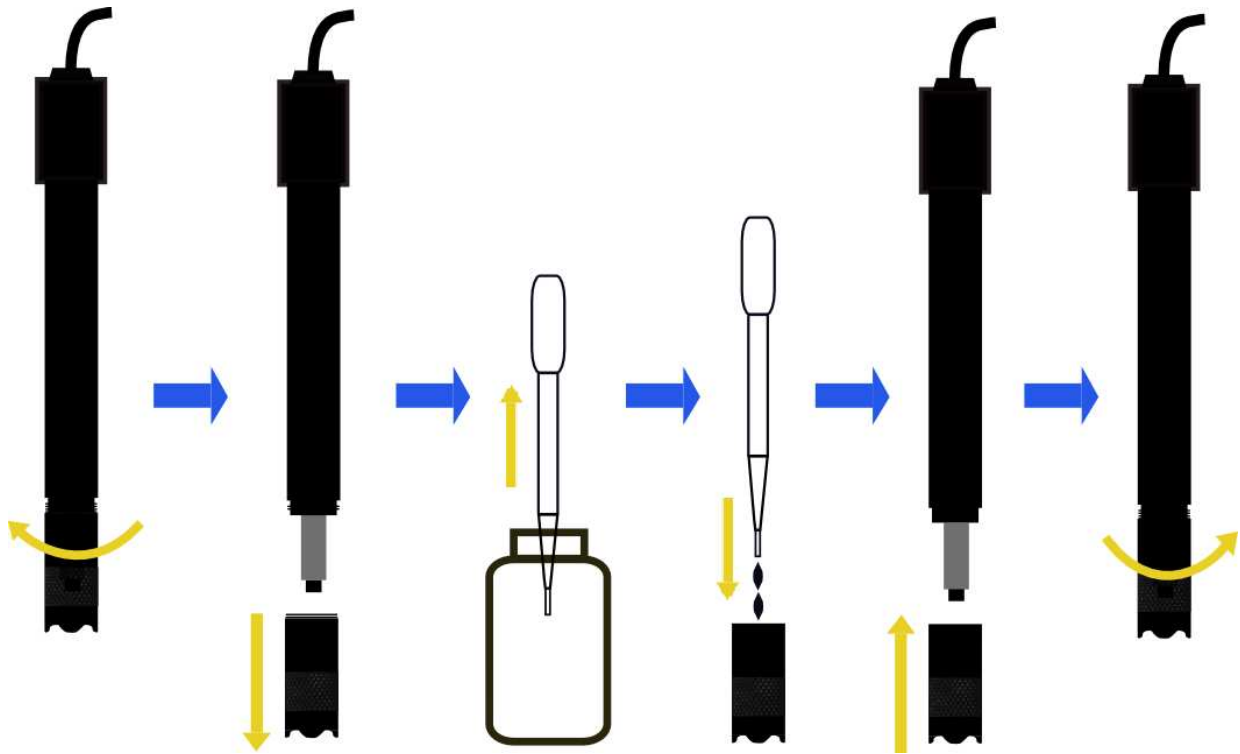
## **Bereite die Sonde vor**

Für eine neue Lösungssauerstoffsonde sollte zunächst als Fülllösung 0,5 mol/L NaOH-Lösung in die Membrankappe

gegeben werden. Wenn die Sonde seit einiger Zeit verwendet wurde und der Fehler stark zunimmt, ist es an der Zeit, die Fülllösung zu ändern. Das folgende Tutorial beschreibt, wie man die Sonde mit der NaOH-Lösung füllt.

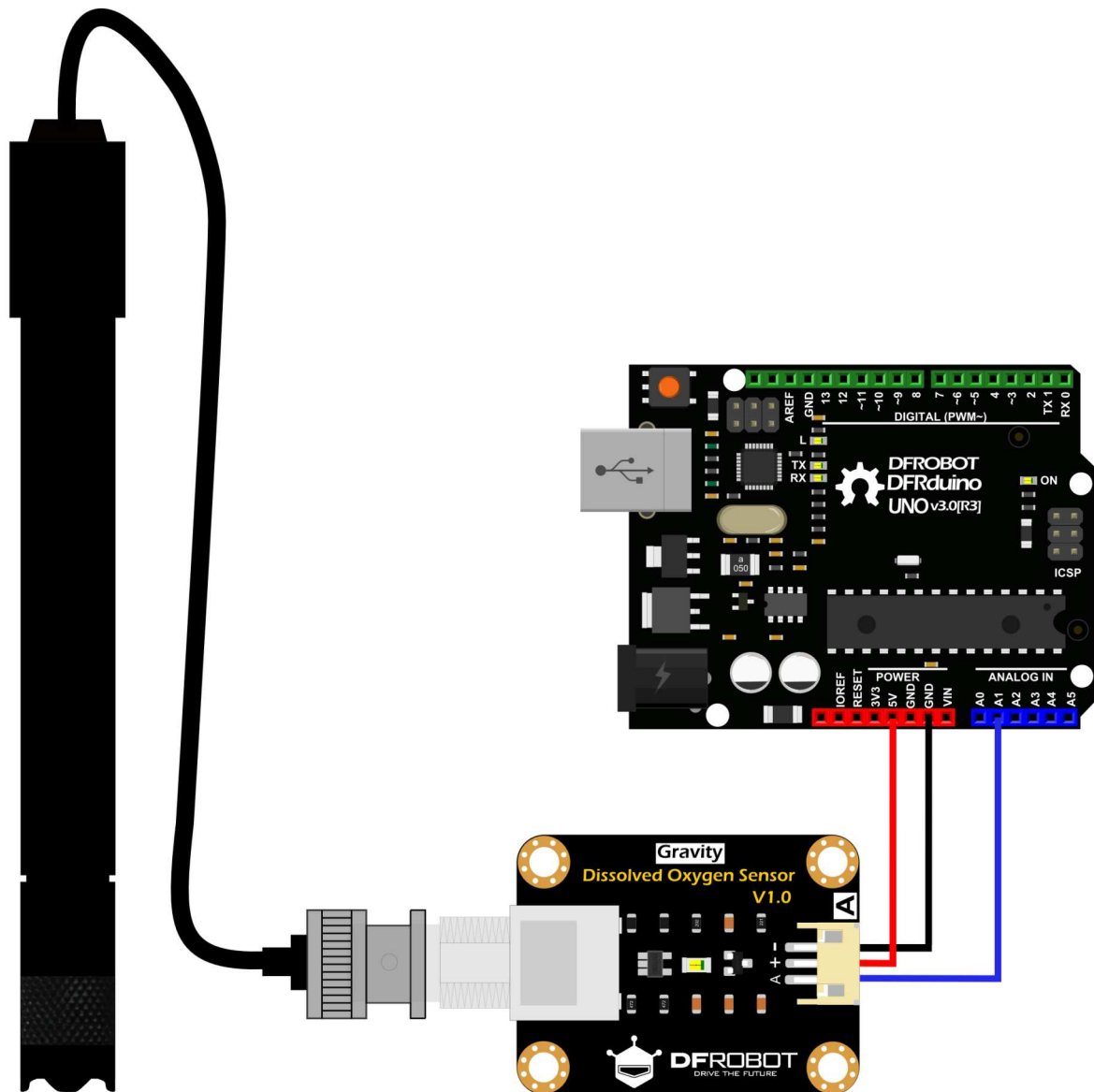
**Schrauben Sie die Membrankappe von der Sonde ab und füllen Sie etwa 2/3 des Volumens der Kappe mit 0,5 mol/L NaOH-Lösung. Stellen Sie sicher, dass sich die Sonde in vertikaler Position in Bezug auf die horizontale Ebene befindet. Schrauben Sie die Kappe vorsichtig wieder auf die Sonde. Es wäre schön, wenn eine kleine Lösung aus der Kappe herauslaufen würde, um sicherzustellen, dass die Sonde vollständig mit NaOH-Lösung gefüllt ist.**

- Wenn die Kappe wieder an die Sonde geschraubt wird, sollte die Sonde in vertikaler Position in Bezug auf die horizontale Ebene sein, um Blasen in der Fülllösung zu vermeiden.
- Wenn die Kappe vollständig mit NaOH-Lösung gefüllt ist, läuft zu viel Lösung über, wenn die Kappe wieder an die Sonde geschraubt wird. Wenn die Fülllösung zu wenig ist, können Blasen im Inneren der Kappe entstehen.  
Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der beste Weg ist, etwa 2/3 des Volumens der Kappe zu füllen. Ein wenig Überlaufen beim Zurückschrauben der Kappe an die Sonde ist in Ordnung.
- Reinigen Sie die übergelaufene Lösung mit einem Taschentuch.
- Schrauben Sie die NaOH-Lösungsflasche nach jedem Gebrauch auf, um zu verhindern, dass das CO<sub>2</sub> in der Luft die Lösung beeinflusst.



## Verbindungsdiagramm

Wenn die Sonde mit NaOH-Lösung gefüllt ist, muss sie kalibriert werden. Bitte verbinden Sie die Sonde vor der Kalibrierung wie im folgenden Diagramm gezeigt. Verbinden Sie die Sonde mit dem BNC-Anschluss auf der Signalwandlerplatine. Schließen Sie die Platine an den analogen Eingang des Arduino-Hauptplatinen an.



## Sondenkalibrierung

Wenn Sie die Sonde zum ersten Mal verwenden oder die Sonde seit einiger Zeit verwendet wird, muss die Sonde auf Genauigkeit kalibriert werden.

- Einzelpunktkalibrierung: Kalibrieren Sie den gesättigten gelösten Sauerstoff nur bei einer festen Temperatur, geeignet für die Verwendung bei stabiler Temperatur
- Zwei-Punkt-Kalibrierung: Kalibrieren Sie den gesättigten



gelösten Sauerstoff bei verschiedenen Temperaturen, Sie können die Temperaturkompensation berechnen, die verwendet wird, wenn sich die Temperatur ändert

## **Kalibrierungscode**

Kopieren Sie das Beispielprogramm in die Arduino-IDE, wählen Sie das Arduino-Board und den Port zum Hochladen aus

```
#include <Arduino.h>

#define VREF    5000
#define ADC_RES 1024

uint32_t raw;

void setup()
{
    Serial.begin(115200);
}

void loop()
{
    raw=analogRead(A1);
    Serial.println("raw:\t"+String(raw)+"\tVoltage(mv)+"String(raw*VREF
    delay(1000);
}
```

## **Einzelpunktkalibrierung**

Kalibrieren Sie den gesättigten gelösten Sauerstoff nur bei einer festen Temperatur, die bei stabiler Temperatur geeignet ist. Es gibt 2 Möglichkeiten, eine gesättigte Spannung von gelöstem Sauerstoff zu erhalten:

1. Setzen Sie die Nasssonde der Luft aus. Ein einfacher Weg.
2. Tauchen Sie die Sonde in gesättigtes gelöstes Sauerstoffwasser ein. Ärgernsam, aber präzise.

### **Setzen Sie die Nasssonde der Luft aus**

1. Bereite die Sonde vor
2. Befeuchten Sie die Sonde in reinem Wasser und schütteln Sie überschüssige Wassertropfen ab
3. Setzen Sie die Sonde der Luft aus und halten Sie den richtigen Luftstrom aufrecht (benutzen Sie keinen Ventilator zum Blasen)
4. Nachdem die Ausgangsspannung stabil ist, nehmen Sie die Spannung auf, die die gesättigte Spannung des gelösten Sauerstoffs bei der aktuellen Temperatur ist

### **Marse die Sonde in gesättigtem gelöstem Sauerstoffwasser**

1. Sonde bereit
2. Bereiten Sie eine Tasse gereinigtes Wasser zu und verwenden Sie eine der folgenden Methoden, um gesättigtes Sauerstoffwasser herzustellen.
  - A: Verwenden Sie einen Rührer oder einen Schneebesen, um 10 Minuten lang kontinuierlich zu rühren, um den gelösten Sauerstoff zu sättigen
  - B: Verwenden Sie eine Luftpumpe, um das Wasser 10 Minuten lang kontinuierlich aufzublasen, um den gelösten Sauerstoff zu sättigen
3. Hören Sie auf zu rühren oder zu pumpen, und setzen Sie die Sonde ein, nachdem die Blasen verschwunden sind
4. Nach dem Platzieren der Sonde langsam weiter umrühren

und dabei Blasen vermeiden.

5. Nachdem die Ausgangsspannung stabil ist, zeichnen Sie die Temperatur und Spannung auf

## **Zweipunkt-Kalibrierung**

1 . Bereiten Sie zwei Tassen gereinigtes Wasser zu, stellen Sie eine Tasse in den Kühlschrank und eine Tasse zum Aufwärmen (40°C nicht überschreiten, da die Sonde sonst beschädigt werden kann).

2. Verwenden Sie eine der folgenden Methoden, um gesättigtes Sauerstoffwasser herzustellen.

- A: Verwenden Sie einen Rührer oder einen Schneebesen, um 10 Minuten lang kontinuierlich zu rühren, um den gelösten Sauerstoff zu sättigen.
- B: Verwenden Sie eine Luftpumpe, um das Wasser 10 Minuten lang kontinuierlich aufzublasen, um den gelösten Sauerstoff zu sättigen.

3. Hören Sie auf zu rühren oder zu pumpen, und setzen Sie die Sonde ein, nachdem die Blasen verschwunden sind.
4. Nach dem Platzieren der Sonde langsam weiter umrühren und dabei Blasen vermeiden.
5. Nachdem die Ausgangsspannung stabil ist, zeichnen Sie die Temperatur und Spannung auf.
6. Führen Sie denselben Vorgang auf einem anderen Glas Wasser durch. Temperatur und Spannung messen und aufzeichnen.

## **Beispielcode**

Bitte kalibrieren Sie zuerst, ändern Sie die Programmparameter

## gemäß den Kalibrierungsdaten vor dem Hochladen

```
#include <Arduino.h>
```

```
#define D0_PIN A1
```

```
#define VREF 5000
```

```
#define ADC_RES 1024
```

```
#define TWO_POINT_CALIBRATION 0
```

```
#define READ_TEMP (25)
```

```
#define CAL1_V (1600)
```

```
#define CAL1_T (25)
```

```
#define CAL2_V (1300)
```

```
#define CAL2_T (15)
```

```
const uint16_t D0_Table[41] = {  
    14460, 14220, 13820, 13440, 13090, 12740, 12420, 12110, 11810, 11530,  
    11260, 11010, 10770, 10530, 10300, 10080, 9860, 9660, 9460, 9270,  
    9080, 8900, 8730, 8570, 8410, 8250, 8110, 7960, 7820, 7690,  
    7560, 7430, 7300, 7180, 7070, 6950, 6840, 6730, 6630, 6530, 6410};
```

```
uint8_t Temperaturet;
```

```
uint16_t ADC_Raw;
```

```
uint16_t ADC_Voltage;
```

```
uint16_t D0;
```

```
int16_t readD0(uint32_t voltage_mv, uint8_t temperature_c)  
{
```

```

#if TWO_POINT_CALIBRATION == 0
    uint16_t V_saturation = (uint32_t)CAL1_V + (uint32_t)35 * temperature_c;
    return (voltage_mv * D0_Table[temperature_c] / V_saturation);
#else
    uint16_t V_saturation = (int16_t)((int8_t)temperature_c - CAL2_T) * (
    return (voltage_mv * D0_Table[temperature_c] / V_saturation);
#endif
}

void setup()
{
    Serial.begin(115200);
}

void loop()
{
    Temperaturet = (uint8_t)READ_TEMP;
    ADC_Raw = analogRead(D0_PIN);
    ADC_Voltage = uint32_t(VREF) * ADC_Raw / ADC_RES;

    Serial.print("Temperaturet:\t" + String(Temperaturet) + "\t");
    Serial.print("ADC RAW:\t" + String(ADC_Raw) + "\t");
    Serial.print("ADC Voltage:\t" + String(ADC_Voltage) + "\t");
    Serial.println("D0:\t" + String(readD0(ADC_Voltage, Temperaturet)) +

    delay(1000);
}

```

**Nachdem der Upload abgeschlossen ist, öffnen Sie den Monitor für den seriellen Anschluss, stellen Sie die Baudrate auf 115200 ein, Sie können die folgenden Ergebnisse sehen**

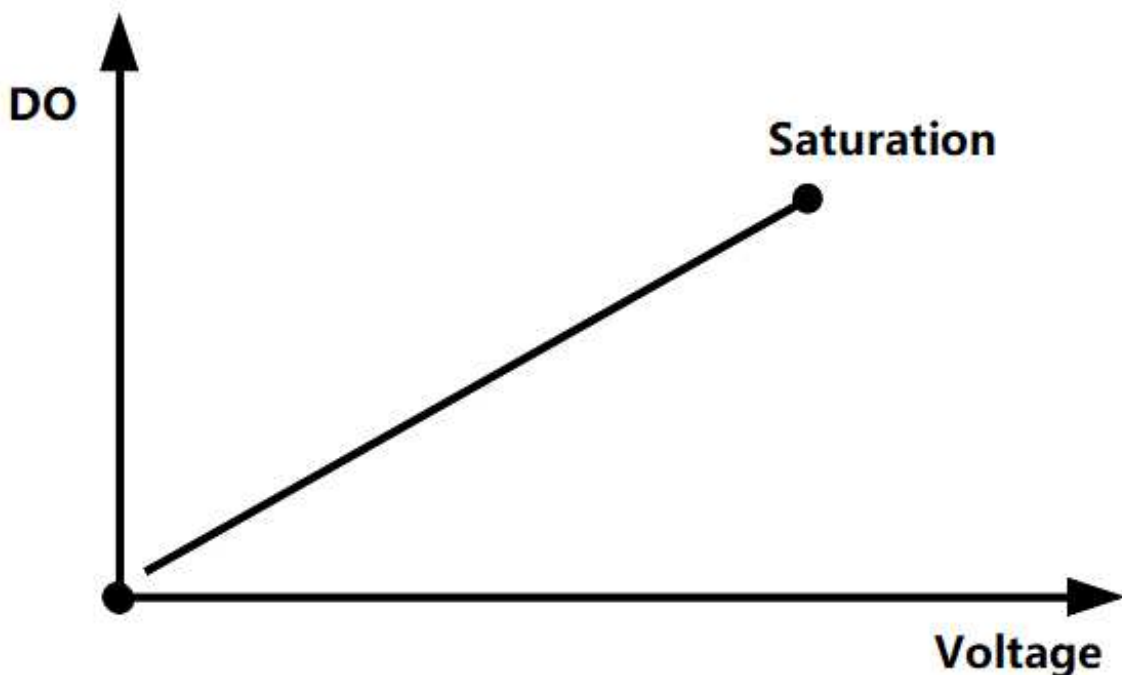
Temperaturet:	25	ADC RAW:	215	ADC Voltage:	1049	D0:
Temperaturet:	25	ADC RAW:	214	ADC Voltage:	1044	D0:
Temperaturet:	25	ADC RAW:	214	ADC Voltage:	1044	D0:

Temperaturet:	25	ADC RAW:	213	ADC Voltage:	1040	D0:
Temperaturet:	25	ADC RAW:	213	ADC Voltage:	1040	D0:

Temperaturet °C ADC RAW **ADC raw reading** ADC Voltage **ADC original voltage mv** D0 Dissolved oxygen µg/L, Convert to mg/L need ÷1000

## Kalibrierungsprinzip

Wenn die Temperatur festgelegt ist, ist die Spannung linear mit der Konzentration des gelösten Sauerstoffs verbunden. Aufgrund der geringfügigen Unterschiede in der Herstellung der Sonde muss die Spannung, die dem gesättigten gelösten Sauerstoff entspricht, kalibriert werden, bevor genaue Daten erhalten werden können.

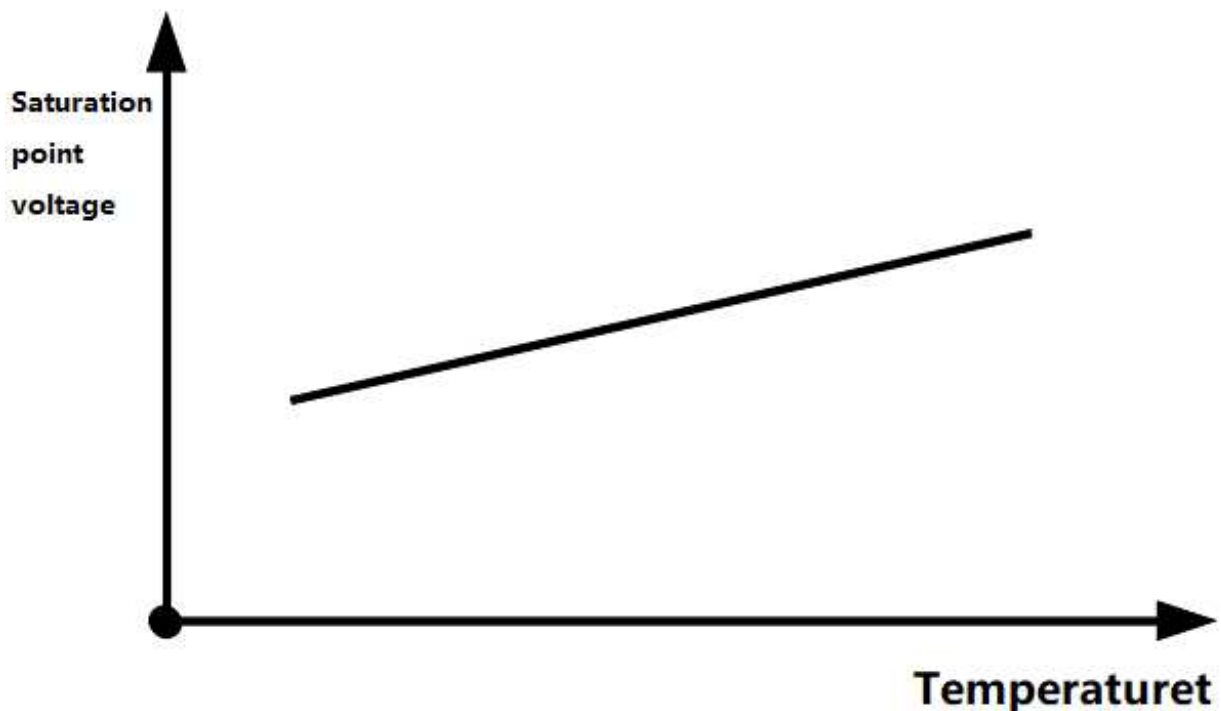


Gesättigter gelöster Sauerstoff wird stark durch Temperaturänderungen beeinflusst. Um die Genauigkeit zu verbessern, ist es notwendig, Änderungen des gelösten



Sauerstoffs und der Sättigungsspannung zu berücksichtigen, die durch Temperaturänderungen verursacht werden.

Die ungefähre Beziehung zwischen Sättigungsspannung und Temperatur ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Es ist notwendig, die Spannung des gesättigten gelösten Sauerstoffs bei zwei verschiedenen Temperaturen zu messen, um eine Temperaturkompensationskurve zu erhalten. Die Entsprechung zwischen der Temperatur und dem gesättigten gelösten Sauerstoff beim Standardatmosphärendruck ist bekannt, und die gesättigte Sauerstoffkonzentration und die entsprechende Spannung bei der aktuellen Temperatur können durch Messung der Temperatur zur Berechnung des gelösten Sauerstoffs bestimmt werden.



T °C	DO mg/L	T °C	DO mg/L	T °C	DO mg/L
0	14.60	16	9.86	32	7.30
1	14.22	17	9.64	33	7.17
2	13.80	18	9.47	34	7.06
3	13.44	19	9.27	35	6.94
4	13.08	20	9.09	36	6.84
5	12.76	21	8.91	37	6.72
6	12.44	22	8.74	38	6.60
7	12.11	23	8.57	39	6.52
8	11.83	24	8.41	40	6.40
9	11.56	25	8.25	41	6.33
10	11.29	26	8.11	42	6.23
11	11.04	27	7.96	43	6.13
12	10.76	28	7.83	44	6.06
13	10.54	29	7.68	45	5.97
14	10.31	30	7.56	46	5.88
15	10.06	31	7.43	47	5.79

## FAQ

### **Q1 Wie konfiguriere ich das gesättigte gelöste Sauerstoffwasser selbst?**

A1 Sie können etwa 20 Minuten lang Luft in Wasser pumpen, um das Wasser mit Sauerstoff zu sättigen, um eine 100%ige gelöste Sauerstoff-Standardflüssigkeit zu erhalten.

### **Q2 Wie macht man null gelöstes Sauerstoffwasser?**

A2 Fügen Sie Natriumsulfit ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) in Wasser hinzu, bis es gesättigt ist. Dadurch kann der gesamte Sauerstoff im Wasser verbraucht werden, um die Null gelöste Sauerstoffflüssigkeit zu

erhalten.

### **Q3 Wie wird die Sonde gespeichert?**

A3

**1.** Kurze Zeit (über Nacht bis eine Woche): Tauchen Sie die Sonde in gereinigtes Wasser oder entionisiertes Wasser, um zu verhindern, dass die Fülllösung verdunstet. Trennen Sie die Sonde jedes Mal vom Hauptinstrument, wenn sie nicht verwendet wird.

**2.** Lange Zeit: (über eine Woche): Schrauben Sie die Kappe von der Sonde ab und waschen Sie den Elektrodenkern (Kathode: Platin, Anode: Blei) und waschen Sie die Kappe mit gereinigtem Wasser oder entionisiertem Wasser. Trocknen Sie alle Komponenten mit Gewebe. Schrauben Sie die Kappe wieder an die Sonde, ohne eine Fülllösung hinzuzufügen, um zu verhindern, dass die Anode verbraucht wird. Legen Sie alle Komponenten wieder in das Paket.

### **Q4. Wie macht man 0,5 mol/L NaOH-Lösung?**

A4 Sie müssen zuerst die NaOH-Lösung kaufen und 1~2 Tropfen Glycerin pro 100 ml in die NaOH-Lösung geben. Nur wenn die NaOH-Lösung in die Sonde hinzugefügt wird, kann sie einsatzbereit sein.

### **F5. Welche Probleme würde ich normalerweise haben? Wie löst man es?**

A5.

**1.** Wenn die Werte von Null gelöster Sauerstoffflüssigkeit nicht Null oder nahe Null sind, können Sie die Kathode der Sonde polieren.

**2.** Wenn die Messwerte nicht im normalen Bereich liegen oder die Messwerte abweichen, überprüfen Sie bitte die Membran auf der Kappe. Wenn die Membran Risse, Löcher oder Verunreinigungen auf dem Membran vorhanden sind, wechseln Sie bitte die Kappe.

**Für Fragen, Ratschläge oder coole Ideen, die Sie teilen möchten, besuchen Sie bitte das [DFRobot-Forum](#).**

## **Weitere Dokumente**

- [Schematisch V1.0](#)
- [Layout mit Dimension](#)
- [Sondenabmessung](#)

- [SVG-Dateien](#)
- [TP5551 Datenblatt](#)
- [Github-Repository](#)

# **Gravity\_\_Analog\_Electrical\_Conductivity\_Sensor\_\_\_Meter\_V2\_\_K=1\_\_SKU\_DFR0300-DFRobot**

## **Einführung**

DFRobot Gravity: Analoges elektrisches Leitfähigkeitsmessgerät V2 wird speziell zur Messung der elektrischen Leitfähigkeit von wässrigen Lösungen und dann zur Bewertung der Wasserqualität verwendet. Dieser Sensor wird häufig in der Wasserkultur, Aquakultur, Umweltwasserdetektion und anderen Bereichen eingesetzt.

Dieses Produkt, als verbesserte Version des elektrischen Leitfähigkeitsmessers V1, das die Benutzererfahrung und Messgenauigkeit erheblich verbessert. Es unterstützt einen 3~5V breiten Spannungseingang und ist mit 5V und 3,3V Hauptsteuerplatine kompatibel. Das Ausgangssignal wird von der Hardware gefiltert und hat einen geringen Jitter. Die Anregungsquelle nimmt ein AC-Signal an, das den Polarisierungseffekt effektiv reduziert, die Präzision verbessert und die Lebensdauer der Sonde verlängert. Die Softwarebibliothek verwendet eine Zwei-Punkt-Kalibrieremethode und kann die Standard-Pufferlösung automatisch identifizieren, wodurch der Benutzer einen einfachen und bequemen Sensor erhält.

Mit diesem Produkt, einer Hauptsteuerplatine (wie Arduino) und der Softwarebibliothek können Sie schnell einen elektrischen Leitfähigkeitsmesser bauen und sofort mit dem Plug-and-Play beginnen, ohne zu schweißen oder zu löten. DFRobot bietet eine

Vielzahl von Wasserqualitätssensorprodukten mit einheitlichen Größen und Schnittstellen an, die nicht nur die Anforderungen verschiedener Wasserqualitätstests erfüllen, sondern auch für die DIY von Multiparameter-Wasserqualitätstester geeignet sind.

Leitfähigkeit ist der Kehrwert eines Objektwiderstands, der mit der Fähigkeit des Materials zusammenhängt, den Strom zu tragen. In einer Flüssigkeit ist die Leitfähigkeit der Lösung ein Maß für ihre Fähigkeit, Elektrizität zu leiten. Die Leitfähigkeit ist ein wichtiger Parameter der Wasserqualität. Es kann das Ausmaß der im Wasser vorhandenen Elektrolyte widerspiegeln.

**Die Sonde ist eine Laborsonde. Tauchen Sie nicht lange in Flüssigkeit ein. Andernfalls verkürzt sich die Lebensdauer der Sonde.**

**Die platinschwarze Schicht ist an der Oberfläche des Blechs in der Sonde befestigt. Es sollte vermeiden, dass Gegenstände es berühren. Es kann nur mit destilliertem Wasser gewaschen werden, da sonst die platinschwarze Schicht beschädigt wird, was zu einer ungenauen Messung führt.**

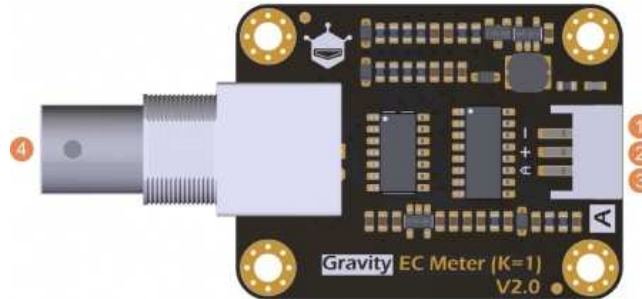
## Spezifizierung

- **Signalumwandlungsplatine (Sender) V2**
  - Versorgungsspannung: 3,0~5,0 V
  - Ausgangsspannung: 0~3.4V
  - Sondenanschluss: BNC
  - Signalanschluss: PH2.0-3Pin
  - Messgenauigkeit:  $\pm 5\%$  F.S.
  - Brettgröße: 42mm\*32mm/1.65in\*1.26in
- **Elektrische Leitfähigkeitssonde**
  - Sondentyp: Laborqualität
  - Zellkonstante: 1,0
  - Unterstützungserkennungsbereich: 0~20ms/cm
  - Empfohlener Nachweisbereich: 1~15ms/cm



- Temperaturbereich: 0~40°C
- Lebensdauer der Sonde: >0,5 Jahr (abhängig von der Häufigkeit der Verwendung)
- Kabellänge: 100cm

## Übersicht des Boards



Num	Etikett	Beschreibung
1	-	Leistung GND(0V)
2	+	Leistung VCC(3.0~5.0V)
3	Ein	Analoger Signalausgang (0~3,4V)
4	BNC	Sondenstecker

## Tutorial

In diesem Tutorial wird gezeigt, wie Sie dieses elektrische Leitfähigkeitsmessgerät zur Kalibrierung und Messung verwenden. Bitte lesen Sie jeden Schritt sorgfältig durch.

- 1. Um die Messgenauigkeit zu gewährleisten, wird dringend empfohlen, einen Temperatursensor hinzuzufügen, um die Temperatur zu messen und eine automatische Temperaturkompensation zu erreichen. [DS18B20 wasserdichter Temperatursensor](#) kann verwendet werden.**
- 2. Bevor Sie eine andere Flüssigkeit messen, stellen Sie sicher, dass Sie die Sonde waschen und Restwassertropfen mit Papier absorbieren, um eine Kontamination der Flüssigkeit zu vermeiden. Sie können die Sonde mit destilliertem Wasser spülen.**

# Anforderungen

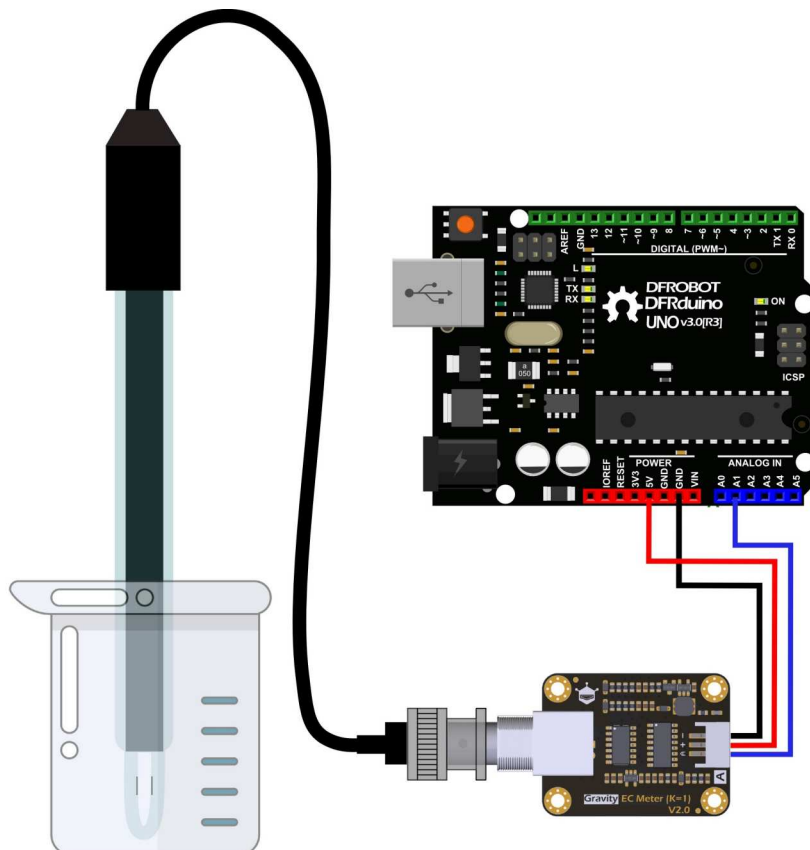
- **Hardware**

- [DFRduino UNO R3](#) (oder ähnlich) x 1
- Analoge elektrische Leitfähigkeitsmessgerätplatine (K=1) x1
- Elektrische Leitfähigkeitssonde (K=1) x1
- Standard-Pufferlösung 1413us/cm x1
- Standard-Pufferlösung 12,88ms/cm x1
- Gravity 3pin Sensorkabel (oder mehrere DuPont-Kabel) x1
- Testlösung x1

- **Software**

- Arduino IDE (Versionsanforderungen: V1.0.x oder V1.8.x), [Klicken Sie, um Arduino IDE von Arduino® herunterzuladen](#)

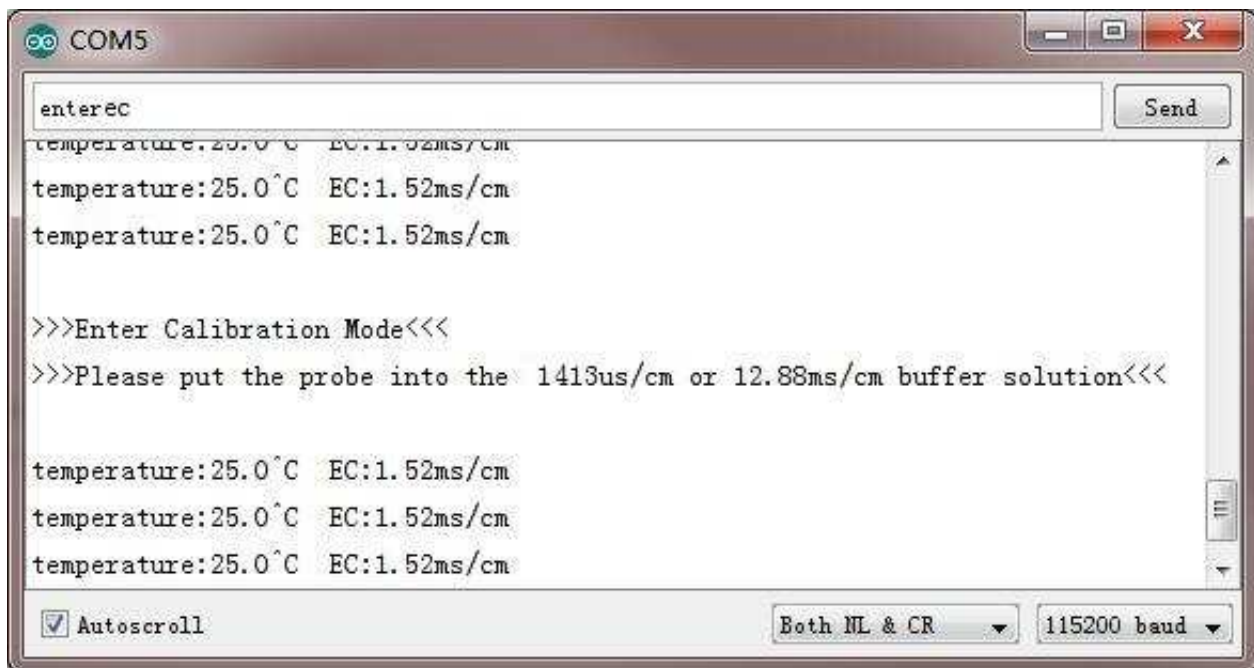
## Verbindungsdiagramm



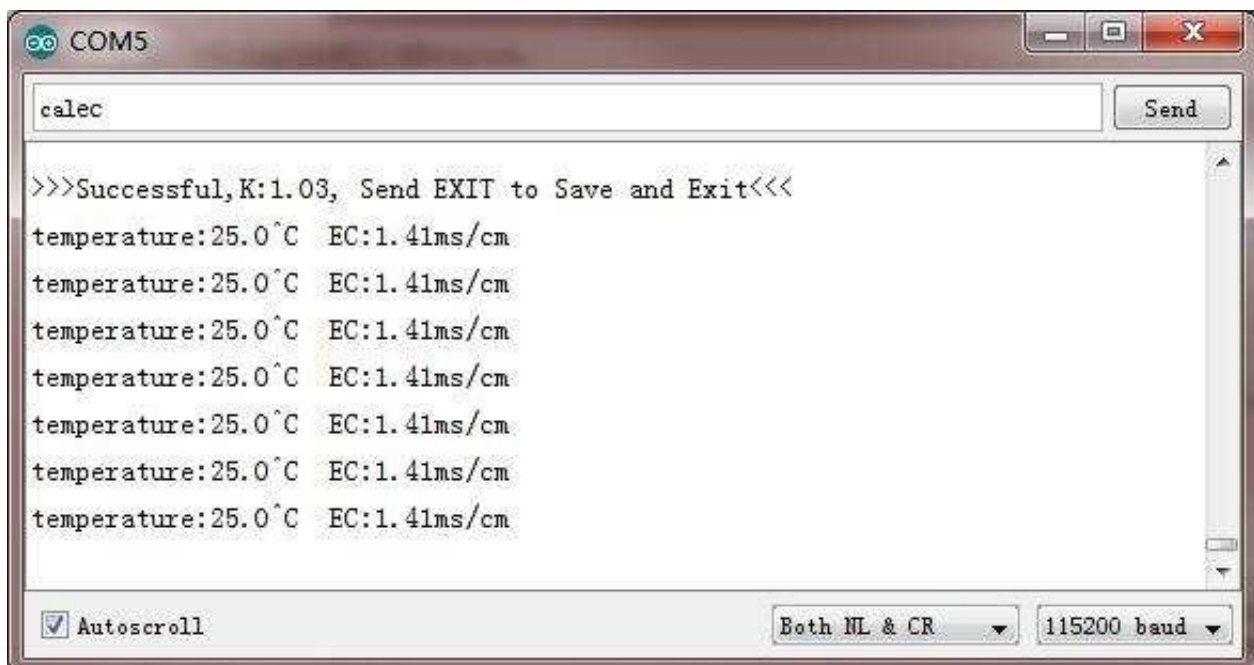
# Kalibrierung

Um die Genauigkeit zu gewährleisten, muss die Sonde für den ersten Gebrauch und nach längerer Zeit nicht mehr kalibriert werden. Dieses Tutorial verwendet die Zwei-Punkt-Kalibrierung und erfordert daher Standard-Pufferlösungen von 1413 us/cm und 12,88ms/cm. Das folgende Tutorial zeigt, wie man eine Zwei-Punkt-Kalibrierung anstut.

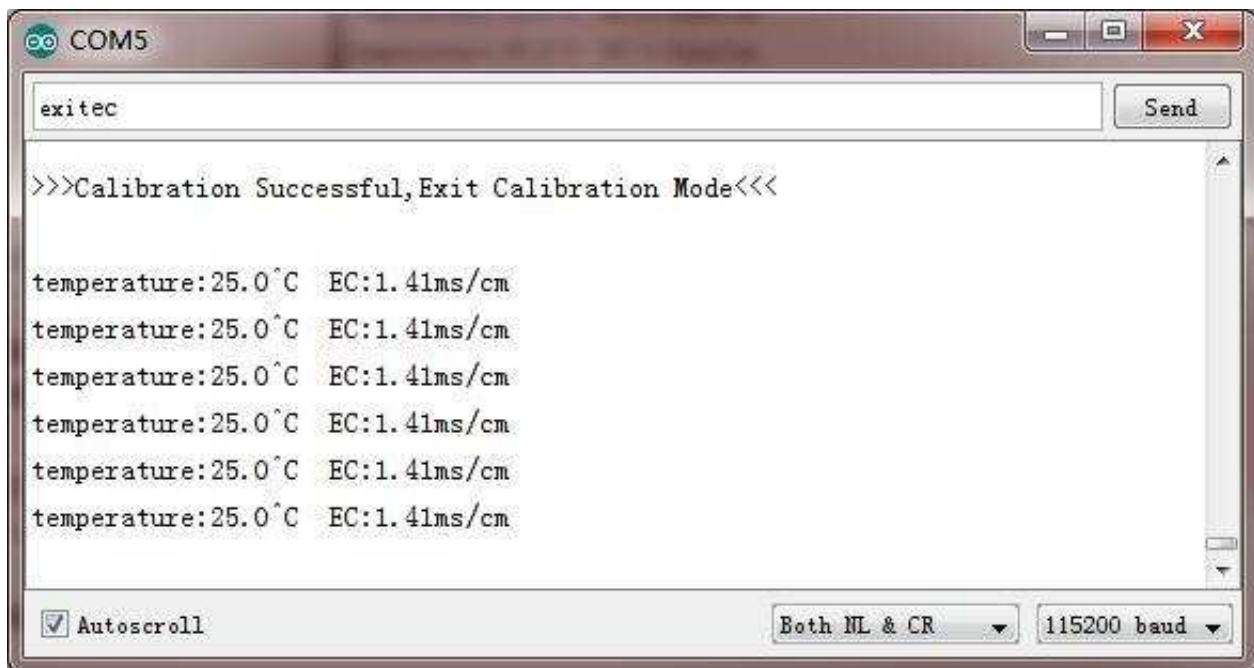
- **1. Laden Sie den Beispielcode auf das Arduino-Board hoch und öffnen Sie dann den seriellen Monitor; Sie können die Temperatur und die elektrische Leitfähigkeit sehen. Wenn Sie einen Temperatursensor hinzugefügt haben, stellen Sie sicher, dass Sie die entsprechende Funktion aufschreiben und sie aufrufen.**
- **2. Waschen Sie die Sonde mit destilliertem Wasser und nehmen Sie dann die restlichen Wassertropfen mit Papier auf. Führen Sie die Sonde in die 1413us/cm Standardpufferlösung ein, rühren Sie vorsichtig um, bis die Werte stabil sind.**
- **3. Nachdem die Werte stabil sind, kann der erste Punkt kalibriert werden. Die spezifischen Schritte sind wie folgt:**
  - **1. Input `enterec` command in the serial monitor to enter the calibration mode.**



- 2. Geben Sie `calec` Befehle ein, um die Kalibrierung zu starten. Das Programm identifiziert automatisch, welche der beiden Standardpufferlösungen vorhanden ist: entweder 1413us/cm oder 12,88ms/cm. In diesem Schritt ist die Standardpufferlösung 1413us/cm.



- 3. After the calibration, input `exitec` command to save the relevant parameters and exit the calibration mode. **Note: Only after input `exitec` command in the serial monitor can the relevant parameters be saved.**



- 4. Nach den oben genannten Schritten wird die erste Punktkalibrierung abgeschlossen. Die Kalibrierung des zweiten Punktes wird unten durchgeführt.
  - **4. Waschen Sie die Sonde mit destilliertem Wasser und nehmen Sie dann die restlichen Wassertropfen mit Papier auf. Führen Sie die Sonde in die 12,88 ms/cm Standard-Pufferlösung ein, rühren Sie vorsichtig um, bis die Werte stabil sind.**
  - **5. Nachdem die Werte stabil sind, kann der zweite Punkt kalibriert werden. Wie beim ersten Kalibrierungsschritt sind die spezifischen Schritte wie folgt:**
- 1. Input `enterec` command in the serial monitor to enter the calibration mode.
- 2. Geben Sie `calec` Befehle ein, um die Kalibrierung zu starten. Das Programm identifiziert automatisch, welche der beiden Standardpufferlösungen vorhanden ist: entweder 1413us/cm oder 12,88ms/cm. In diesem Schritt beträgt die Standardpufferlösung 12,88 ms/cm.

- 3. After the calibration, input `exitec` command to save the relevant parameters and exit the calibration mode. **Note: Only after input `exitec` command in the serial monitor can the relevant parameters be saved.**
- 4. Nach den obigen Schritten wird die Kalibrierung des zweiten Punktes abgeschlossen.
  - **6. Nach Abschluss der oben genannten Schritte wird die Zwei-Punkte-Kalibrierung abgeschlossen, die dann für die eigentliche Messung verwendet werden kann. Die relevanten Parameter im Kalibrierungsprozess wurden im EEPROM der Hauptsteuerplatine gespeichert.**

## Beispielcode

Bitte laden Sie zuerst [die DFRobot\\_EC-Bibliothek herunter](#) und installieren Sie sie dann. [So installieren Sie Bibliotheken in Arduino IDE](#)

```
#include "DFRobot_EC.h"
#include <EEPROM.h>

#define EC_PIN A1
float voltage,ecValue,temperature = 25;
DFRobot_EC ec;

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  ec.begin();
}
```

```

void loop()
{
    static unsigned long timepoint = millis();
    if(millis()-timepoint>1000U)
    {
        timepoint = millis();
        voltage = analogRead(EC_PIN)/1024.0*5000;

        ecValue = ec.readEC(voltage,temperature);
        Serial.print("temperature:");
        Serial.print(temperature,1);
        Serial.print("^C  EC:");
        Serial.print(ecValue,2);
        Serial.println("ms/cm");
    }
    ec.calibration(voltage,temperature);
}

float readTemperature()
{
}

```

## FAQ

### F. Wie lange muss die Sonde kalibriert werden?

A. Das Kalibrierungsintervall wird durch die Häufigkeit der Verwendung bestimmt. Normalerweise können Sie es einmal im Monat kalibrieren. Bei häufiger Verwendung kann es einmal pro Woche kalibriert werden. Bei der Kalibrierung wird eine frische Standardpufferlösung empfohlen.

### F. Wie erreicht man eine automatische Temperaturkompensation?

A. Der Temperaturkompensationsalgorithmus wurde in die [DFRobot\\_EC-Bibliothek](https://wiki.dfrobot.com/Gravity__Analog_Electrical_Conductivity_Sensor___Meter_V2__K=1__SKU_DFR0300) integriert. Sie müssen nur die Spannung und Temperatur gleichzeitig auf **Float ReadEC (Fließkomspannung, Float-Temperatur)** übertragen, um die elektrische Leitfähigkeit mit Temperaturkompensation zu erhalten.



**F. Ist es notwendig, während der Kalibrierung zwei Punkte zu kalibrieren? Kann ich nur eine Punktkalibrierung abschließen?**

A. Die Zwei-Punkte-Kalibrierung muss abgeschlossen sein, da die beiden Punkte jeweils der Standardpufferlösung 1413us/cm und 12,88ms/cm entsprechen. Die Zwei-Punkt-Kalibrierung stellt die Genauigkeit des gesamten Messbereichs sicher. Daher muss die Zwei-Punkte-Kalibrierung abgeschlossen werden.

**F. Bei der ersten Kalibrierung ist die Kalibrierung immer fehlgeschlagen. Was könnte der Grund sein?**

A. Bei der Kalibrierung werden die relevanten Parameter an der angegebenen Position in EEPROM gespeichert. Wenn andere Daten zuvor in der gleichen Position in EEPROM gespeichert wurden, kann es zu einem Konflikt kommen, der zu einer Unfähigkeit zur ordnungsgemäßen Kalibrierung führt. Verwenden Sie den folgenden Code, um den Inhalt an der angegebenen Position in EEPROM zu löschen. Führen Sie es einmal aus, und laden Sie dann den Beispielcode erneut hoch, um die Kalibrierung neu zu starten.

```
#include <EEPROM.h>
#define ECADDR 0x0A
void setup()
{
    Serial.begin(115200);
    for(int i = 0; i < 8; i++ )
    {
        EEPROM.write(ECADDR+i, 0xFF);
        delay(10);
    }
}
void loop()
{
    static int a = 0, value = 0;
    value = EEPROM.read(ECADDR+a);
    Serial.print(ECADDR+a, HEX);
    Serial.print(":");
    Serial.print(value);
    Serial.println();
    delay(10);
}
```

```
a = a + 1;  
if (a == 8)  
    while(1);  
}
```

**Für Fragen, Ratschläge oder coole Ideen, die Sie teilen möchten, besuchen Sie bitte das [DFRobot-Forum](#).**

## Weitere Dokumente

- [PCB-Layout](#)
- [Sondenabmessung](#)
- [DFRobot\\_EC-Bibliothek \(Github\)](#)
- [Schwerkraft: Analog elektrischer Leitfähigkeitssensor / Messgerät \(K=10\)](#)
- [Alte Version Wiki\(V1\)](#)

# **Schwerkraft\_Analog\_elektrischer\_Leitfähigkeit\_Sensor\_Meter\_K=10\_SKU\_DFR0300-H-DFRobot**

## **Einführung**

DFRobot Gravity: Analog elektrischer Leitfähigkeitssensor/Meter (K=10) wird speziell zur Messung von Flüssigkeit mit hoher elektrischer Leitfähigkeit, wie Meerwasser, konzentrierter Salzlake usw., verwendet. Der Messbereich beträgt bis zu 100 ms/cm. Dieses Produkt eignet sich für die Wasserqualitätsanwendung der Marikultur, z.B. Meeresfischerei, Meeresaquarien.

Es unterstützt 3~5V breite Spannungseingänge und ist mit 5V und 3,3V Hauptsteuerplatine kompatibel; Die Anregungsquelle verwendet ein Wechselstromsignal, das den Polarisierungseffekt effektiv reduziert, die Präzision verbessert und die Lebensdauer der Sonde verlängert; Die Softwarebibliothek verwendet die Einzelpunktkalibrierungsmethode und kann automatisch die Standardpufferlösung identifizieren, so einfach und bequem.

Mit diesem Produkt, der Hauptsteuerplatine (wie Arduino) und der Softwarebibliothek können Sie schnell ein elektrisches Leitfähigkeitsmessgerät, Plug-and-Play, ohne Lötung, bauen, das eine Reihe von Plug-and-Play-Leitfähigkeitsmesslösungen für Hersteller bietet.

DFRobot bietet eine Vielzahl von Wasserqualitätssensorprodukten, einheitliche Größe und Schnittstelle, die nicht nur die Anforderungen verschiedener

Wasserqualitätstests erfüllen, sondern auch für die DIY von Multiparameter-Wasserqualitätstestern geeignet sind.



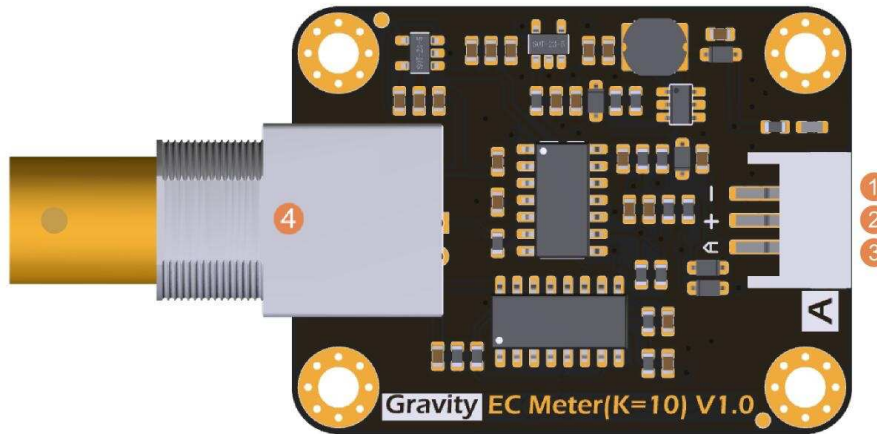
### **Hinweis:**

- Die Sonde ist eine Laborsonde. Tauchen Sie nicht lange in Flüssigkeit ein. Andernfalls verkürzt sich die Lebensdauer der Sonde.
- Die platinschwarze Schicht ist an der Oberfläche des Blechs in der Sonde befestigt. Es sollte vermeiden, dass Gegenstände es berühren. Es kann nur mit destilliertem Wasser gewaschen werden, da sonst die platinschwarze Schicht beschädigt wird, was zu einer ungenauen Messung führt.

## **Spezifizierung**

- **Signalkonvertierungsplatine**
  - Versorgungsspannung: 3,0~5,0 V
  - Ausgangsspannung: 0~3,2 V
  - Sondenanschluss: BNC
  - Signalanschluss: PH2.0-3Pin
  - Messgenauigkeit:  $\pm 5\%$  F.S.
- **Elektrische Leitfähigkeitssonde**
  - Sondentyp: Laborqualität
  - Zellkonstante:  $10 \pm 2$
  - Unterstützungserkennungsbereich: 10~100ms/cm
  - Temperaturbereich: 0~40°C
  - Sondenlebensdauer: >0,5 Jahre (Die tatsächliche Lebensdauer hängt von der Häufigkeit der Verwendung und der Szene zusammen)
  - Kabellänge:  $100 \pm 2$ cm

## **Übersicht des Boards**



Num	Etikett	Beschreibung
1	-	Leistung GND(0V)
2	+	Leistung VCC(3.0~5.0V)
3	Ein	Analoger Signalausgang (0~3.2V)
4	BNC	Sondenstecker

## Tutorial

In diesem Tutorial wird gezeigt, wie Sie dieses elektrische Leitfähigkeitsmessgerät zur Kalibrierung und Messung verwenden. Bitte lesen Sie jeden Schritt sorgfältig durch.

- **Um die Messgenauigkeit zu gewährleisten, wird dringend empfohlen, einen Temperatursensor hinzuzufügen, um die Temperatur zu messen und eine automatische Temperaturkompensation zu erreichen. [DS18B20 wasserdichter Temperatursensor](#) kann verwendet werden.**
- **Bevor Sie eine andere Flüssigkeit messen, stellen Sie sicher, dass Sie die Sonde waschen und Restwassertropfen mit Papier absorbieren, um eine Kontamination der Flüssigkeit zu vermeiden. Sie können die Sonde mit destilliertem Wasser spülen.**
- **Für das Arduino-Board wird ein Außernetzteil empfohlen, um ein genaueres und stabileres Lesen zu**

**erhalten.**

## **Anforderungen**

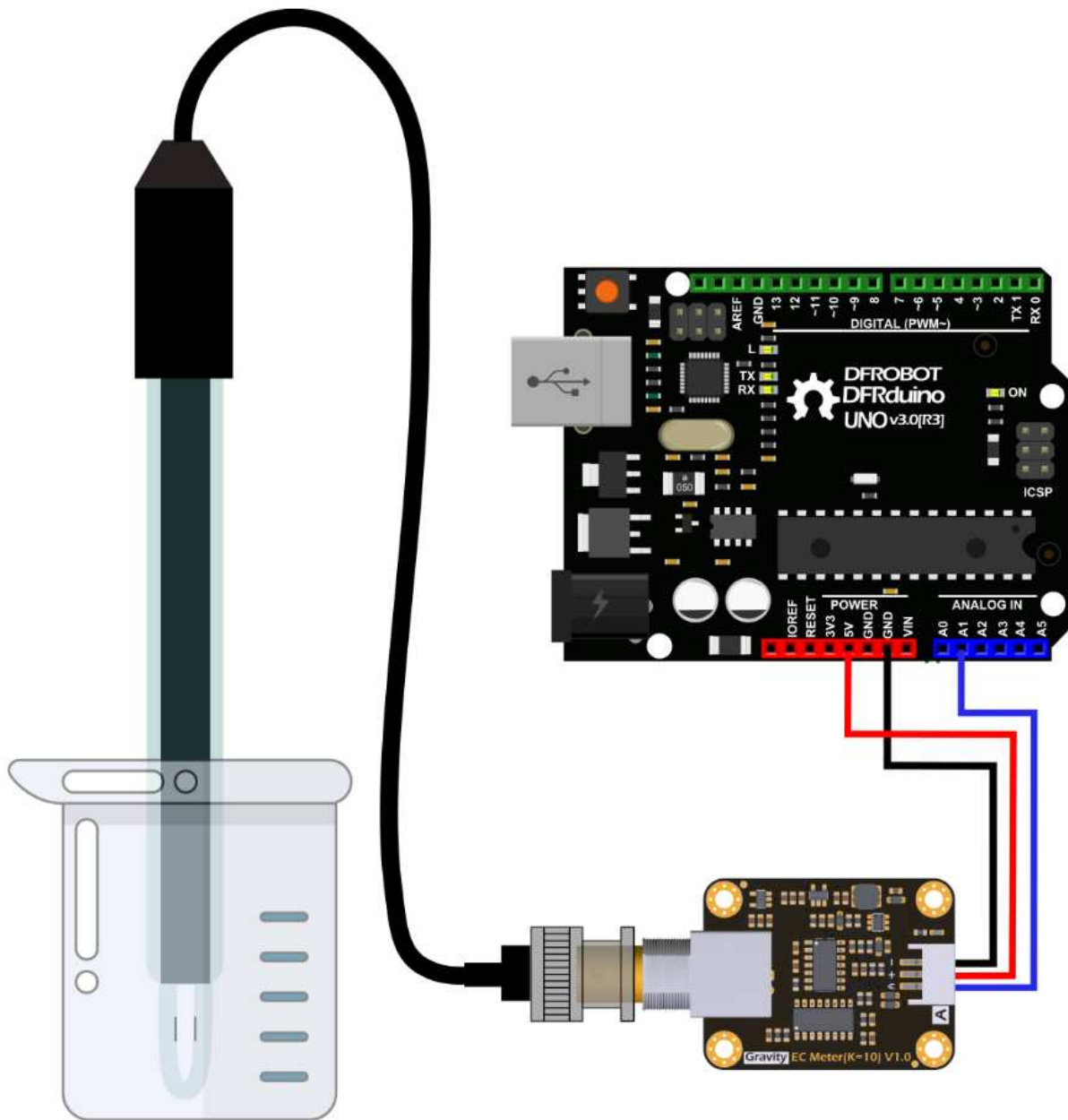
- **Hardware**

- [DFRduino UNO R3](#) (oder ähnlich) x 1
- Analoge elektrische Leitfähigkeitsanzeigeplatine (K=10) x 1
- Elektrische Leitfähigkeitssonde (K=10) x 1
- Standard-Pufferlösung 12,88ms/cm x 1
- Gravity 3pin Sensorkabel (oder mehrere DuPont-Kabel) x 1
- Testlösung x1

- **Software**

- [Arduino IDE](#) (Versionsanforderungen: V1.0.x oder V1.8.x)
- Laden Sie die [DFRobot\\_EC10-Bibliothek](#) herunter und installieren Sie sie ([Über die Installation der Bibliothek?](#))

## **Verbindungsdiagramm**



## Kalibrierung

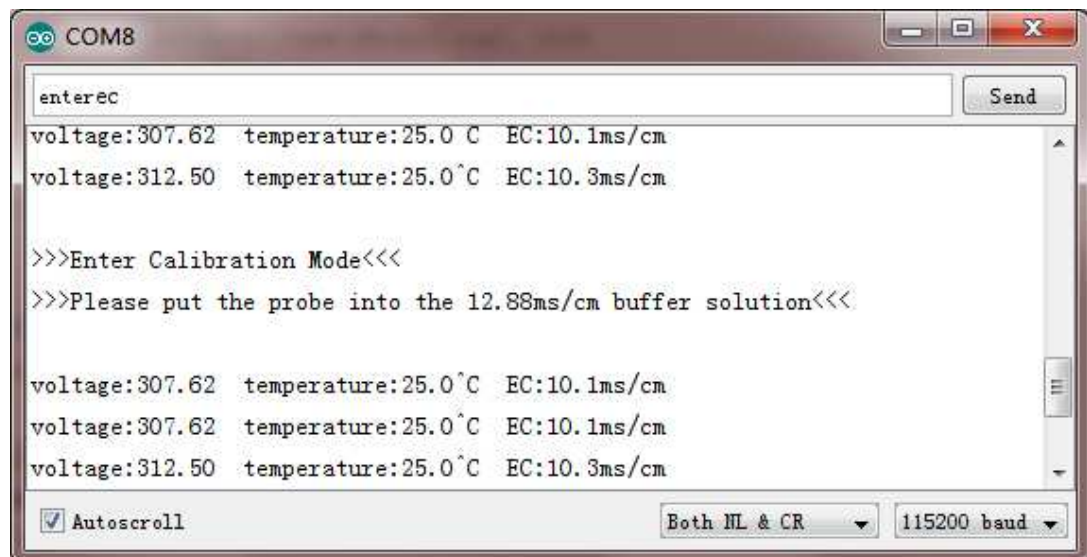
Um die Genauigkeit zu gewährleisten, muss die Sonde, die zum ersten Mal oder für einen bestimmten Zeitraum verwendet wird, kalibriert werden. Dieses Tutorial verwendet die Einzelpunktkalibrierung und erfordert daher Standardpufferlösungen von 12,88 ms/cm. Das folgende Tutorial zeigt, wie man die Einzelpunktkalibrierung verneht.

1. Laden Sie den Beispielcode auf das Arduino-Board hoch, öffnen Sie dann den seriellen Monitor, Sie können die Temperatur und die elektrische Leitfähigkeit sehen. Wenn Sie

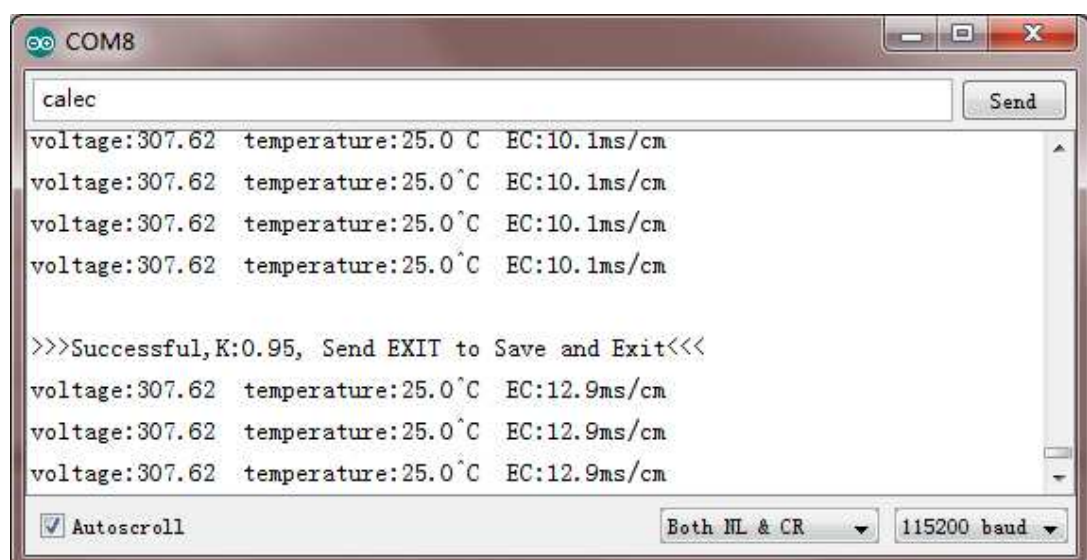


einen Temperatursensor hinzugefügt haben, schreiben Sie unbedingt den entsprechenden Funktionscode und rufen Sie ihn auf.

2. Waschen Sie die Sonde mit destilliertem Wasser und nehmen Sie dann die restlichen Wassertropfen mit Papier auf. Führen Sie die Sonde in die 12,88 ms/cm Standard-Pufferlösung ein, rühren Sie vorsichtig um, bis die Werte stabil sind.
3. Nachdem die Werte stabil sind, kann der Einzelpunkt kalibriert werden. Die spezifischen Schritte sind wie folgt:
  1. Geben Sie den Befehl ENTEREC in den seriellen Monitor ein, um in den Kalibrierungsmodus zu wechseln.

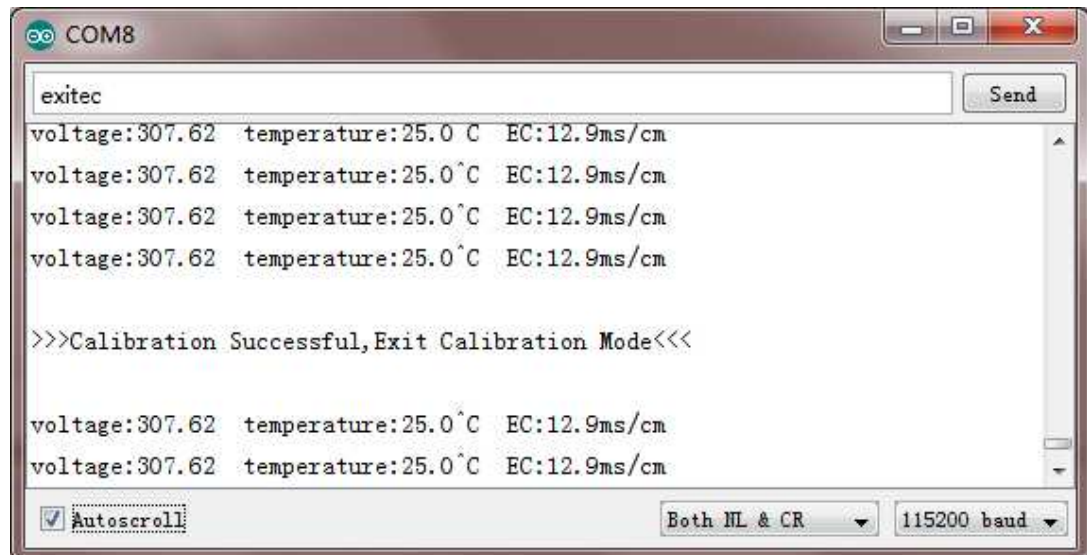


2. Geben Sie CALEC-Befehle ein, um die Kalibrierung zu starten. Das Programm identifiziert automatisch die Standardpufferlösung von 12,88 ms/cm.



3. Geben Sie nach der Kalibrierung den Befehl EXITEC ein, um die relevanten Parameter zu speichern und den Kalibrierungsmodus zu beenden.

**Hinweis: Erst nach Eingabe des EXITEC-Befehls im seriellen Monitor können die relevanten Parameter gespeichert werden.**



4. Nach Abschluss der oben genannten Schritte ist die Einzelpunktkalibrierung abgeschlossen, und dann kann der Sensor für die eigentliche Messung verwendet werden. Die relevanten Parameter im Kalibrierungsprozess wurden im EEPROM der Hauptsteuerplatine gespeichert.

## Beispielcode

Laden Sie die [DFRobot\\_EC10-Bibliothek](#) herunter und installieren Sie sie ([Über die Installation der Bibliothek?](#))

```
#include "DFRobot_EC10.h"
#include <EEPROM.h>

#define EC_PIN A1
float voltage,ecValue,temperature = 25;
DFRobot_EC10 ec;
```

```

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  ec.begin();
}

void loop()
{
  static unsigned long timepoint = millis();
  if(millis()-timepoint>10000)
  {
    timepoint = millis();
    voltage = analogRead(EC_PIN)/1024.0*5000;
    Serial.print("voltage:");
    Serial.print(voltage);

    ecValue = ec.readEC(voltage,temperature);
    Serial.print("  temperature:");
    Serial.print(temperature,1);
    Serial.print("^C  EC:");
    Serial.print(ecValue,1);
    Serial.println("ms/cm");
  }
  ec.calibration(voltage,temperature);
}

float readTemperature()
{

}

```

## FAQ

<b>F&amp;A</b>	<b>Einige allgemeine Probleme/FAQ/Tipps</b>
<b>Q</b>	<b>Wie lange muss die Sonde kalibriert werden?</b>
	<b>Das Kalibrierungsintervall wird durch die Häufigkeit der Verwendung bestimmt. Normalerweise können Sie es einmal im</b>

<b>Ein</b>	Monat kalibrieren. Bei häufiger Verwendung kann es einmal pro Woche kalibriert werden. Bei der Kalibrierung wird eine frische Standardpufferlösung empfohlen.
<b>Q</b>	Wie erreicht man eine automatische Temperaturkompensation?
<b>Ein</b>	Der Temperaturkompensationsalgorithmus wurde in die DFRobot_EC10-Bibliothek integriert. Sie müssen nur die Spannung und Temperatur gleichzeitig auf <b>Float ReadEC (Float-Spannung, Schwimmtemperatur)</b> übertragen, um die elektrische Leitfähigkeit mit Temperaturkompensation zu erhalten.
<b>Q</b>	Während der ersten Kalibrierung schlug die Kalibrierung immer fehl. Was könnte der Grund sein?
<b>Ein</b>	Bei der Kalibrierung werden die relevanten Parameter an der angegebenen Position in EEPROM gespeichert. Wenn andere Daten zuvor in der gleichen Position in EEPROM gespeichert wurden, kann es zu einem Konflikt kommen, der zu einer Unfähigkeit zur ordnungsgemäßen Kalibrierung führt. Verwenden Sie den folgenden Code, um den Inhalt an der angegebenen Position in EEPROM zu löschen. Führen Sie es einmal aus, und laden Sie dann den Beispielcode erneut hoch, um die Kalibrierung neu zu starten.

```
#include <EEPROM.h>
#define KVALUEADDR 0x0F
void setup(){
    for(byte i = 0;i< 8; i++ ){
        EEPROM.write(KVALUEADDR+i, 0xFF);
    }
}
void loop(){
}
```

Für Fragen, Ratschläge oder coole Ideen, die Sie teilen möchten, besuchen Sie bitte das [DFRobot-Forum](#). Wenn Sie Fragen zur Verwendung dieses Produkts haben, überprüfen Sie bitte die [FAQ-Liste](#) für dieses Produkt auf eine entsprechende Lösung.

## Weitere Dokumente

- [PCB-Layout](#)
- [Sondenabmessung](#)
- [DFRobot\\_EC10 Bibliothek \(Github\)](#)
- [Schwerkraft: Analog elektrischer Leitfähigkeitssensor / Messgerät V2 \(K=1\)](#)

