

Multiparameter-Messkette für tiefenaufgelöste Gewässerüberwachung

Otto Dreier, Frederic Güth, Yvonne Joseph

Institut für Elektronik- und Sensormaterialien, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, Deutschland

Kontakt: Otto.Dreier@esm.tu-freiberg.de

Einleitung

Zur Überwachung von Binnengewässern werden derzeit punktuell und zu ausgewählten Zeitpunkten Messungen mit einzelnen (Multiparameter-)Sonden durchgeführt, siehe Abb. 1. Die Sonden werden manuell an einzelnen Stellen herabgelassen, um dort ein Tiefenprofil wichtiger Gewässerparameter aufzuzeichnen [1]. Ergänzt werden diese Messungen durch manuelle Probennahmen mit anschließenden Analysen, teilweise vor Ort, teilweise im Labor [1], [2].



Abb. 1: Vermessung einer Talsperre mit herkömmlicher Multiparametersonde aus einem Boot.

Durch die zunehmende Häufigkeit von extremen Wetterereignissen wird die genaue Überwachung der Binnengewässer immer wichtiger, um Überflutungsereignisse besser vorhersagen zu können und um die Wasserversorgung der Zukunft garantieren zu können. Deshalb gewinnen automatisierte Messsysteme auf Trink- oder Brauchwassertalsperren an Bedeutung, da sie Einsparungen sowohl im Zeit- als auch im Personalaufwand versprechen.

Wünschenswert wäre ein System zur Vermessung des gesamten Gewässers sowohl horizontal als auch insbesondere in der Tiefe, um so z.B. auch Grundwasserzuströme am Gewässerboden zu erkennen. So könnte eine Messkette an einer beweglichen autonomen Trägerplattform genutzt werden, um zu ei-

nem Zeitpunkt das gesamte Tiefenprofil aller Gewässerparameter aufzunehmen, schematisch dargestellt in Abb. 2. Durch Verfahren der Trägerplattform würde die Kette ein hochauflösendes dreidimensionales Abbild der Gewässerparameter des gesamten Gewässers anfertigen. Gleichzeitig wäre der personelle Aufwand für die vollständige Vermessung eines Gewässers vergleichsweise gering. Ein solches System wird im Rahmen des Projekts RoBiMo an der TU Bergakademie Freiberg entwickelt [2].

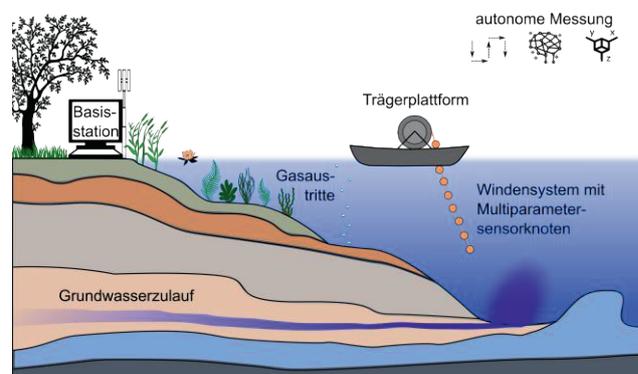


Abb. 2: Darstellung des vorgeschlagenen Messsystems. Ein Windsystem auf einer Trägerplattform lässt eine Messkette aus mehreren Sensorknoten in die Tiefe.

Konzept der Messkette

Kommerzielle Multiparametersonden sind für eine solche Messkette eher ungeeignet, da aufgrund ihrer Größe und Masse die Messplattform Dimensionen erreicht, die das autonome Befahren der Gewässer erschweren und die Flexibilität im Einsatz der Messplattform verringert.

Die hier vorgestellte Sensorkette besteht deswegen aus mehreren kleinen und leichten, direkt für die Anwendung entworfenen Multiparameter-Sensorknoten, die untereinander mittels eines Windsystems in das Gewässer gelassen werden. Mit der Winde kann so, je nach Gewässertiefe, eine gewünschte Knotenzahl an der Messkette gewählt und abgelassen werden. Die Länge der Messkette und damit die Messtiefe kann auch während einer Messfahrt anhand entsprechender Echtzeit-Tiefenmessungen per Echolot angepasst werden.

Jeder einzelne der entwickelten Knoten (siehe Abb. 3) weist wahlweise Sensoren für verschiedene Gewässerparameter auf, z.B. für elektrische Leitfähigkeit, Absolutdruck, Temperatur, pH-Wert und Trübung.



Abb. 3: Gerenderte Darstellung des Sensorknoten-designs. An der Oberseite befinden sich vier Öffnungen zur Messung der Gewässerparameter, seitlich ist ein Kontaktstecker für die Datenkommunikation zur Trägerplattform angebracht.

Als Kombination dieser Sensoren bildet jeder Sensorknoten eine bestimmte Tiefe des Gewässers mit allen gewünschten Parametern ab. Es ergibt sich ein Tiefenprofil des Gewässers durch die Kombination der Daten mehrerer Sensorknoten in zunehmender Tiefe.

Die Auslenkung jedes einzelnen Sensorknotens wird dabei über eine IMU (inertial measurement unit) in jedem Knoten überwacht, um eine zu große Gesamtauslenkung der Messkette während der Fahrt erkennen und verhindern zu können.

Um die generelle Funktion eines solchen Messsystems zu testen, wurde ein erster Prototyp (siehe Abb. 4a) konstruiert und erprobt. Der Prototyp war dabei an einer projekteigenen Schwimmplattform (siehe Abb. 4b) direkt unter der Wasseroberfläche befestigt. Für Untersuchungen der Auslenkung des Knotens wurde der Prototyp frei hängend an der Plattform angebracht. Für erste Messungen der unterschiedlichen Wasserparameter war der Sensorknoten hingegen fest an der Plattform in einer Wassertiefe von 20 cm befestigt.

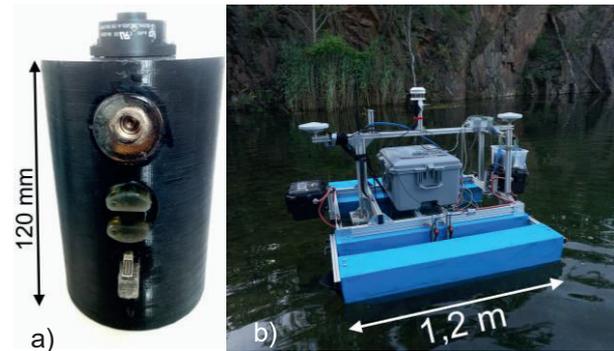


Abb. 4: Bilder des verwendeten Messsystems.
a) Bild des ersten Sensorknotenprototyps
b) Bild der Schwimmplattform

Für die ersten Tests wurden Sensoren für die Gewässerparameter elektrische Leitfähigkeit, Trübung, Druck und Temperatur in einem 3D gedruckten Gehäuse verbaut. Die verwendeten Sensoren sind in Tab. 1 aufgeführt. Angesteuert und ausgelesen werden die Sensoren durch einen Mikrocontroller, verwendet wurde hier der ATmega328P der Firma Atmel [4]. Die Auswahl der Sensoren erfolgte nach folgenden Kriterien in absteigender Relevanz: zu erwartender Messbereich, Genauigkeit, Größe, Gewicht und Kosten.

Die Messdaten für einen Zeitpunkt werden durch den Mikrocontroller gesammelt und per RS485-Schnittstelle als serielle Daten mit geringer Latenz an die Trägerplattform geschickt. Die Recheneinheit auf der Plattform speichert die Daten und stellt sie drahtlos zugleich dem Nutzer an der Basisstation am Ufer zur Verfügung. Durch eine grafische Darstellung der Daten kann eine Überprüfung der Messung in Echtzeit erfolgen und interessante Bereiche erneut oder genauer vermessen werden.

Tab. 1: Sensoren des Sensorknotenprototyps

Parameter	Sensoren	Bereich
Temperatur	10K Precision Epoxy Thermistor der Firma Adafruit Ind. [4]	-55 °C bis +125 °C
Elektrische Leitfähigkeit	EZO Conductivity Circuit der Firma Atlas Scientific [5]	0,55 µS/cm bis 0,5 S/cm
Druck	PX3AN2BS100PAAA X der Firma Honeywell [6]	0 bis 6,89 bar
Trübung	TSD-10 der Firma Amphenol Advanced Sensors [7]	0 bis 3000 NTU
IMU	FXOS8700 und FXAS21002 der Firma NXP Semiconductors [8] [9]	Bis zu ±8 g, ±1200 µT, ±2000 °/s

Ergebnisse und Diskussion

Neben der geringeren Größe konnten im Vergleich zu handelsüblichen Multiparametersonden auch die Kosten der einzelnen Knoten deutlich verringert werden: die Kosten der entwickelten Sensorknoten betragen weniger als ein Zehntel der Kosten kommerzieller Multiparameter-Systeme. Dadurch sind die Knoten besonders für den Einsatz in hohen Stückzahlen geeignet, insbesondere an einer einzelnen Messkette mit vielen Messstellen. Auch für die ortsfeste Daueranwendung sind die einzelnen Sensorknoten gut geeignet, da sie aufgrund ihrer geringen Größe leicht und unauffällig im Probegewässer stationiert werden können, was z.B. besonders für touristisch genutzte Gewässer oder Brunnen relevant sein kann.

In ersten Untersuchungen mit dem Prototyp des Sensorknotens an der Schwimmplattform zeigte sich, dass sich in den IMU-Daten die Auslenkung des Knotens aus dem Ruhezustand sehr deutlich wieder spiegelt (siehe Abb. 5). Dazu wurde die Trägerplattform periodisch beschleunigt und abgebremst, um so die Auslenkung des Sensorknotens unter Wasser zu beobachten.

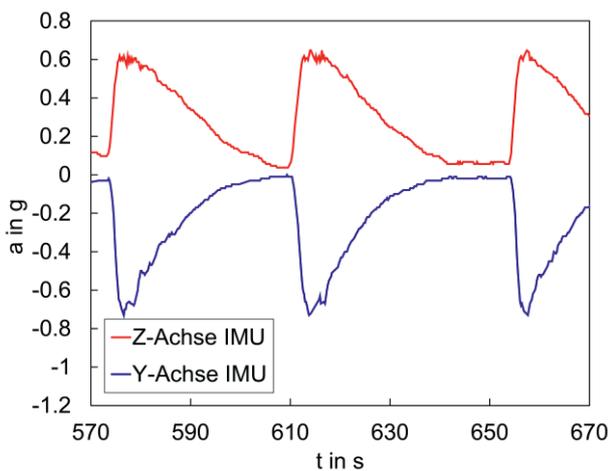


Abb. 5: Beschleunigung des Sensorknoten-Prototyps bei periodischem Anfahren und Abbremsen.

Jede Beschleunigung der Trägerplattform führt zu einem starken Anstieg der Knotenauslenkung, erkennbar als ein Verkippen um die Z- und Y-Achse der IMU. Nach dem Abbremsen und Anhalten der Plattform sinkt der Knoten in einem Zeitraum von jeweils 30 Sekunden zurück in den Ausgangszustand.

Damit ist der Neigungszustand des Sensorknotens erkennbar und kann so in der Auswertung der restlichen Messdaten berücksichtigt werden z.B., um bei einem Anfahren bestimmter Messstellen auf dem Gewässer automatisch abzuwarten, bis die gesamte Sensorkette in den Ruhezustand zurückgekehrt ist. Weiterhin sind damit Probleme während der Messung erkennbar, wie ein unerwünschtes Verdrehen der Messkette.

Durch ein Verfahren der Plattform über das Gewässer konnten im nächsten Schritt für eine einzelne Gewässertiefe Leitfähigkeits- und Temperaturkurven erstellt werden, während über den Druck die Tiefe des Sensorknotens unter Wasser aufgezeichnet wurde. Beispielhafte Ergebnisse für das Speicherbecken Lohsa 1 in Ostsachsen sind in Abb. 6 dargestellt. Sowohl Temperatur als auch Leitfähigkeit sind hinreichend konstant während der Messung, die Standardabweichungen betragen $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $0,58\text{ }\mu\text{S/cm}$. Die Änderungen von Temperatur und Leitfähigkeit können zurückgeführt werden auf Unterschiede im Uferabstand oder in der Sonneneinstrahlung. Lokale Strömungen, z. B. durch Zu- oder Abflüsse können ebenfalls eine Veränderung der Temperatur und Leitfähigkeit bewirken.

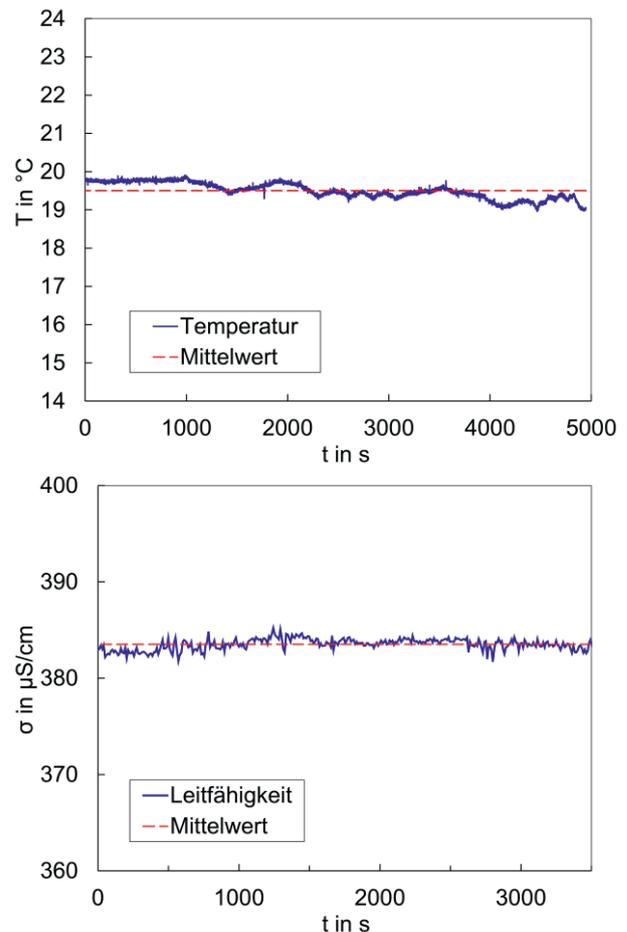


Abb. 6: Messwerte von Temperatur und elektrischer Leitfähigkeit in einer Tiefe von 20 cm im Speicherbecken Lohsa 1.

Beispielhafte Ergebnisse für die Druckmessung sind in Abb. 7 dargestellt. Da für diese Messungen der Prototyp fest an der Schwimmplattform befestigt war und nicht als Sensorkette frei im Wasser schwamm, blieb die Wassertiefe konstant. Es ist anzunehmen, dass Strömungen und Verwirbelungen um den Sensorknoten während der Fahrt auftraten und den

Drucksensor entsprechend beeinflussten, wodurch die Messergebnisse des Drucks von einem konstanten Wert abweichen; dazu kommt die Ungenauigkeit des Sensors selbst. Die Standardabweichung beträgt $1,7 \cdot 10^{-3}$ bar, was 1,75 cm Wassersäule entspricht. Damit sind die Messergebnisse bis auf Ausreißer trotzdem aussagekräftig um die Tiefe des Sensorknotens unter der Wasseroberfläche zu bestimmen.

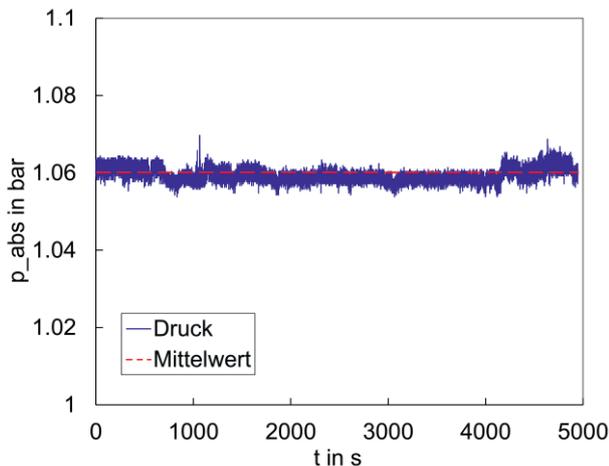


Abb. 7: Messwerte des absoluten Drucks in einer Tiefe von 20cm im Speicherbecken Lohsa 1.

Während der ersten Untersuchungen zur Auslenkung des Prototyps und nach weiteren Tests mit unterschiedlichen Strömungskörpern wurde die Notwendigkeit von Anpassungen der Sensorknoten-Geometrie deutlich. Die Geometrie des ersten Prototyps wies einen zu großen Strömungswiderstand auf, was zu einem starken Auslenken der Messkette während der Fahrt führte.

Deswegen wurde der Durchmesser im Vergleich zum ersten Prototyp um 3 cm verringert und das zylindrische Gehäuse durch einen Aufbau mit tropfenförmigem Querschnitt ersetzt, siehe Abb. 8. Damit konnte die relevante Anströmfläche signifikant verringert werden, was damit den Strömungswiderstand der Sensorknoten deutlich verbessern sollte.

Während der erste Sensorknoten mit einer Vergussmasse versehen wurde, um den Knoten wasserdicht zu gestalten, wurde bei der Weiterentwicklung ein Schwerpunkt auf Reparierbarkeit und Modularität des Knotenaufbaus gelegt.

Aufgrund dessen sind die Sensoren im aktualisierten Design in schraubenförmigen Gehäusen gefasst (siehe Abb. 9), was ein Auswechseln der Sensoren und zugleich auch Abdichten gegenüber dem Gehäuse ermöglicht. Damit wird auch eine Anpassbarkeit in der Sensorbestückung ermöglicht, sodass die Messkette z.B. auch tiefenabhängig unterschiedliche Parameter erfassen kann.

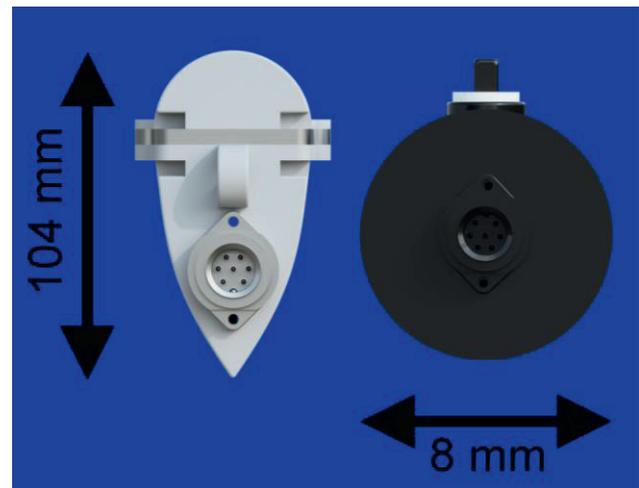


Abb. 8: Vergleich der Querschnitte des ersten (rechts) und des aktualisierten (links) Prototyps.

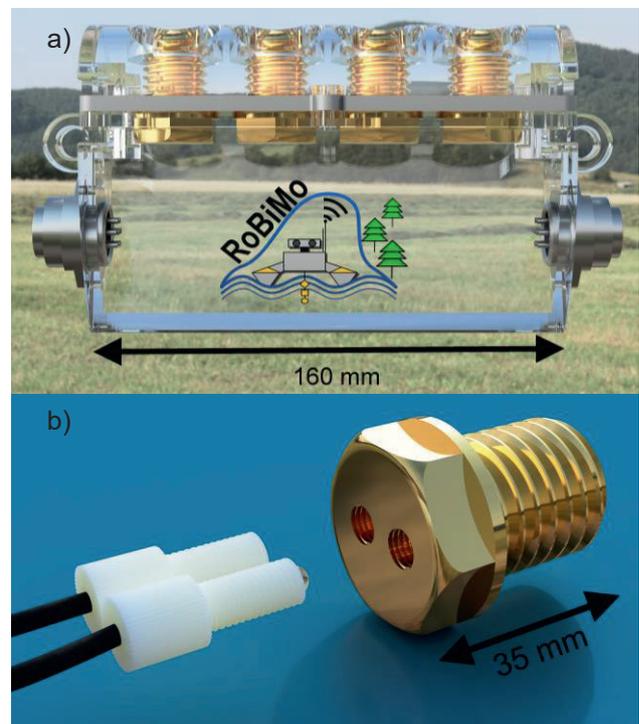


Abb. 9: Schraubenförmige Sensorhalterungen
a) Seitliche Ansicht der Anordnung der Sensorgehäuse im Knoten.
b) Sensorschraube mit zwei Elektroden für die Messung des pH-Werts.

Zusammenfassend wurde ein kostengünstiger Entwurf für Sensorknoten erstellt. Dieser Sensorknoten kann mit gleichartigen Knoten zu einer Messkette zusammengeschaltet werden, um simultan das Tiefenprofil mehrerer Gewässerparameter aufzunehmen. Ein Prototyp wurde gefertigt und funktioniert wie vorgesehen für die Erfassung von elektrischer Leitfähigkeit, Absolutdruck, Gewässertemperatur und der Beschleunigung des einzelnen Sensorknotens.

Im nächsten Schritt werden die Sensorknoten um weitere Sensoren erweitert, um anschließend in größerer Stückzahl zusammen als Sensorkette getestet zu werden. Dabei sollen auch Vergleichsmessungen mit herkömmlichen Multiparametersonden erfolgen.

Danksagung

Die hier vorgestellten Ergebnisse sind im Rahmen des Forschungsprojekts RoBiMo (Antragsnummer: 100381908), unterstützt durch das Schwesternprojekt AIRGEMM entstanden. Beide Projekte werden durch Mittel des europäischen Sozialfonds (ESF) und durch Steuermittel auf der Grundlage des vom Sächsischen Landtag beschlossenen Haushaltes finanziert. Die Projekte bedanken sich bei der umfangreichen Zusammenarbeit mit der LTV Sachsen und LMBV.

Literatur

- [1] LMBV mbH, „Merkblatt Montanhydrologisches Monitoring, Anhang 2.3 Seewasserprobennahme und -analytik,“ 2019.
- [2] Normenausschuß Wasserwesen (NAW) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., „DIN 38402 Probenahme aus stehenden Gewässern (A12),“ 1985.
- [3] „Robotergestütztes Binnengewässer Monitoring (RoBiMo),“ 2021. [Online]. Available: <https://tu-freiberg.de/robimo>.
- [4] Atmel, „ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P DATASHEET,“ 2012.
- [5] Adafruit Industries, „10K Precision Epoxy Thermistor Datasheet,“ 2020.
- [6] Atlas Scientific, „EZO-EC Datasheet V 6.0,“ 2019.
- [7] Honeywell International Inc., „Heavy Duty Pressure Transducers PX3 Series Datasheet,“ 2019.
- [8] Amphenol Advanced Sensors, „TSD-10 Turbidity Sensor Datasheet,“ 2019.
- [9] NXP Semiconductors, „FXOS8700CQ 6-axis sensor with integrated linear accelerometer and magnetometer Datasheet,“ 2017.
- [10] NXP Semiconductors, „FXAS21002C 3-Axis Digital Angular Rate Gyroscope Datasheet,“ 2015.