

Das Projekt „CrowdSensing für Bodensee Online“

Erfahrungsbericht der Projektbeteiligten

Der Bodensee gilt als wichtigstes europäisches Wasserreservoir. Er versorgt etwa vier Millionen Menschen in rund 320 Städten und Gemeinden mit Trinkwasser. Aufgrund dieser Tatsache ist eine kontinuierliche Überwachung und das Monitoring durch Umweltmessstationen unerlässlich, um Veränderungen der Parameter möglichst schnell zu identifizieren und bei Bedarf auch reagieren zu können. Aktuell gibt es am Bodensee nur stationäre Umweltmessstellen oder Einzelmessungen infolge von Messprogrammen. Diese Datenerfassung ist kostenintensiv und nicht flächendeckend möglich.

Der Digitale Wandel eröffnet uns neue Möglichkeiten unsere Natur und Umwelt zu schützen. Durch „CrowdSensing“ können Bürgerinnen und Bürger selbst Umweltdaten erheben und damit helfen den Zustand von Natur und Umwelt zu bestimmen. Der wachsende Markt für kostengünstige Sensoren mit Anbindung zum Internet (Internet of Things (IoT)) macht dies möglich.

Im Rahmen der landesweiten Digitalisierungsstrategie digital@bw hat das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft getestet, wie der Aufbau einer innovativen CrowdSensing-Plattform zur Erfassung, Visualisierung und Auswertung von flächendeckenden Umweltmessdaten umgesetzt werden kann. Dabei sollte vor allem überprüft werden, inwiefern es machbar und sinnvoll ist, diese stationären Messtationen und Einzelmessungen in Messkampagnen durch einen citizen-science-Ansatz (zu dt. Bürgerwissenschaften) zu unterstützen und damit die Kenntnis über die Verhältnisse am Bodensee zu erweitern. Das Projekt gliedert sich in den Förderschwerpunkt „Smarte Umweltdaten“ des Umweltministeriums ein.¹

Das Projekt wurde von den Projektnehmern ISB AG, Fraunhofer IOSB und der Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH von Februar 2020 bis Dezember 2020 durchgeführt.

Ziel und Vorgehensweise

Das Ziel des Projekts war es, die Erforschung und prototypische Entwicklung neuer Lösungsansätze zur Bereitstellung von Umweltinformationen und -daten vorzunehmen. Ausgangspunkt war die Referenzgröße „Wassertemperatur“, welche durch die Nutzung und Vernetzung vorhandener Technologien überprüft werden sollte. Dabei sollte unter freiwilliger Beteiligung privater Personen (Bootsbesitzer) eine mit den vorhandenen stationären Umweltmessstellen vergleichbare bzw. räumlich-zeitlich höher aufgelöste Datengrundlage gewonnen werden. Die Basis bildete ein so genanntes Internet der Dinge (eng. Internet of things, IoT) zur kostengünstigen Gewinnung von flächendeckenden Umweltmessdaten unter der Verwendung von In-Situ Sensoren.

Das Fraunhofer IOSB hat die Plattform für den Demonstrator für die Dauer der Piloterprobung zur Verfügung gestellt. Dazu gehören auch die Implementierung der OpenSource-Schnittstelle „SensorThingsAPI“ sowie die gemeinsam im Rahmen des Projekts konzipierten, integrierten oder entwickelten Visualisierungs-, Auswerte- und/oder Sicherheitsdienste.

Im Rahmen des Demonstrators wurde eine Ausstattung und die Erprobung von In-Situ Sensoren für Oberflächenwassertemperatur konzipiert und umgesetzt, um eine maximale Übertragbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen. Von der Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH (KUP)

¹ <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/umwelt-natur/nachhaltigkeit/nachhaltige-digitalisierung/handlungsfelder/>

wurden die Methoden für die wissenschaftliche Validierung der gesammelten Daten anhand von vorhandenen qualitätsgeprüften Sensordaten und Simulationen erarbeitet.

ISB als langjähriger Entwickler von individuellen Software-Lösungen für die öffentliche Verwaltung hat die Sensor-Things-Demonstrator-Lösung von Fraunhofer IOSB prototypisch entwickelt. Dabei sollte vor allem eine ergonomische, für den Nutzer leicht bedienbare Anwendung entstehen und diese gleichzeitig in eine langfristig betreibbare Anwendungslandschaft integriert werden.

Das Ziel des Forschungsberichtes war es, eine wissenschaftliche, fachlich fundierte Aussage zur Machbarkeit des evaluierten Sensornetzwerks zu treffen und konkrete Handlungsempfehlungen (Best Practices) zu formulieren.

Projektdurchführung

Erfahrungen mit der Sensorik

In der ursprünglichen Projektplanung waren zwei zeitlich getrennte Phasen für die Entwicklung der Sensoren und auch der Kommunikationsinfrastruktur geplant. Zunächst sollte in einer vorgeschalteten Pilotphase die kontrollierte Erprobung der Sensoren und ihre Montagemöglichkeiten – teilweise vor Ort begleitet durch das Fraunhofer IOSB – stattfinden, um dann mit weitgehend ausgereiften Sensoren in die Feldphase zu gehen. Aufgrund der durch die Covid-19-Pandemie entstandenen zahlreichen Einschränkungen und Verzögerungen war dieser Ansatz nicht mehr möglich, und es wurde beschlossen, diese beiden Phasen überlappend zu bearbeiten. Dies bedeutete einerseits, dass teilweise frühe Entwicklungen aus der Pilotphase schon an Probanden für die Feldphase frei gegeben wurden, und auf der anderen Seite wurden Erfahrungen aus der frühen Feldphase unmittelbar in Weiterentwicklung zurückgeführt. Auf diese Weise entstand eine enge Abstimmung zwischen dem Entwicklungsteam im Fraunhofer IOSB, und den Probanden bei der Erprobung der Sensoren. Letztlich hatte sich diese enge Abstimmung als vorteilhaft erwiesen, weil dadurch sehr viel mehr Anwendungserfahrungen bei der Weiterentwicklung berücksichtigt werden konnten, als dies bei einer getrennten Phasenbearbeitung möglich gewesen wäre.

Ein wichtiges Ergebnis dieser engen Abstimmung zwischen Entwicklung und Probanden ist die deutlich verbesserte Bedienbarkeit des Sensors. Durch die Notwendigkeit der Einbindung der Probanden in die Entwicklungszyklen wurde eine einfach zu bedienende Nutzeroberfläche benötigt, die das Ein- und Ausschalten des Sensors ermöglichte, aber auch die Konfiguration des Sensors zur Anpassung an verschiedene Messmodi, das Auslesen von Sensordaten beim offline-Betrieb sowie die Aktualisierung der Betriebssoftware. Diese Bedienung wurde in Ergänzung zum ursprünglichen Entwurf durch die Bereitstellung eines temporären WLAN-Hotspots durch den Sensor ermöglicht, und benötigt damit keine weiteren Anschlüsse an das Gehäuse oder sonstige Infrastruktur. Um die Probanden bei der Bedienung zu unterstützen, wurde ein Betriebshandbuch erstellt und mit dem Sensor verteilt, und bei Bedarf wurde auch eine telefonische Unterstützung gewährt. Dies erhöhte zwar den Aufwand bei der Entwicklung und der Logistik, trug aber letztlich zu einem besseren Ergebnis bei.

Die folgende Abbildung zeigt, wie die von IOSB entwickelten Sensoren aussehen.



Abbildung 1 - Sensoren mit Klemmhalterung

Ein kritischer Punkt bei der Konzeption der Sensoren war stets der Energieverbrauch und die daraus resultierende erreichbare Laufzeit. Erfreulich war hier der relativ geringe Energiebedarf der Sensoren und auch des „Long Range Wide Area Network (LoRaWAN)“-Moduls. Problematisch hingegen war die Ortsbestimmung durch das Globale Positionsbestimmungssystem GPS. Zum einen benötigt das GPS-Modul vergleichsweise viel Energie, und zum anderen dauert eine genaue Ortbestimmung deutlich länger als etwa das Auslesen eines einfachen Temperatursensors. Durch die Möglichkeit der freien Programmierbarkeit des Microcontrollers im Sensor konnte jedoch ein optimiertes Energiemanagement realisiert werden, mit dem Laufzeiten von teilweise über 2 Monaten erreicht wurden.

Der Entwurf des Sensors wird als quelloffene Software und Hardware bereitgestellt werden. Er ist damit eine allgemein verfügbare und frei konfigurierbare Plattform für mobile Sensoren sowohl zum lokalen Datenlogging als auch für die Echtzeit-Datenerfassung. Der Zusammenbau der Sensoren ist einfach und kann bei Bedarf durch eine kommerzielle Platinen-Bestückung weiter erleichtert werden.

Sensordaten

Die mit den CrowdSensing-Sensormodulen erhobenen Daten können anhand eines Vergleichs mit Daten von stationären Messstationen plausibilisiert und somit deren Güte bestimmt werden. Die stationären Messstationen liefern kontinuierliche Messwerte der Wassertemperatur mit hoher Qualität in einer festen Wassertiefe für einen Ort. Da deren Einrichtung, Betrieb und Wartung aber relativ aufwändig sind, gibt es davon nur relativ wenige am Bodensee.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass diejenigen Sensormodule, die Wassertemperaturen des Bodensees erfasst haben, schlüssige und plausible Daten im Rahmen der definierten Genauigkeit der Messtechnik lieferten. Anhand von Filtern und Plausibilisierungstools konnten die repräsentativen Messwerte identifiziert werden. Die verwendete Messtechnik und deren Befestigung auf den Schiffen hat sich bewährt. Aufgrund der Bewegung, die diese Sensormodule durch das Mitführen auf Schiffen erfahren, können die erfassten Daten eine im Vergleich zu an stationären Messstationen erfassten Messdaten chaotische Charakteristik aufweisen, da auf diese Weise verschiedene Gewässerkompartimente beprobt werden. Dies wurde bei der Plausibilisierung und Interpretation der Daten berücksichtigt. Der erfasste Stichprobensatz und damit auch die gesammelten Erfahrungen sind allerdings noch relativ gering.

Projektergebnisse

Technische Aspekte

Aus technischer Sicht wurden im Rahmen der Machbarkeitsstudie vor allem Fragestellungen zur Kommunikationstechnologie LoRaWAN behandelt, sowie zur Konzeption eines kostengünstigen mobilen und wasserdichten Sensormoduls. Besonders hervorzuheben sind dabei die folgenden Erkenntnisse:

1. Der technische Betrieb eines eigenen LoRaWAN-Gateways stellt keine ungewöhnliche, technische Herausforderung dar.
2. Der Aufwand bei der Standortsuche darf hierbei jedoch nicht unterschätzt werden.
3. Die erzielten Reichweiten waren sehr gut.
4. Die Verfügbarkeit von kommerziellen LoRaWAN Sensoren ist schnell wachsend.
5. Das Experimentalsensormodul erfüllte die im Kontext der Machbarkeitsstudie formulierten Anforderungen im hohen Maße und bietet ein breites Einsatzspektrum.
6. Die Batterielaufzeiten sind der wesentliche limitierende Faktor für die Experimentdauer bei hohen, GPS-lokalisierten Sensorabtastraten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass LoRaWAN eine sehr geeignete Technologie für die vorliegende Aufgabenstellung der kostengünstigen Echtzeiterfassung von Oberflächenwassertemperatur mit mobilen Sensormodulen ist. Bei der Wahl des Betriebsmodells bieten sich verschiedene Optionen.

Mit dem Entwurf des Sensormoduls ist eine sehr flexible einsetzbare Plattform entstanden. Es lassen sich unterschiedliche Arten von Sensoren anschließen, eine GPS-basierte Ortsbestimmung kann optional aufgenommen werden, und durch die freie Programmierung des Microcontrollers lassen sich angepassten Messstrategien realisieren.

Crowd-Sensing-Ansatz

Die Auswertung der erhobenen Daten hat gezeigt, dass die Verwendung des Crowd-Sensing-Ansatzes prinzipiell geeignet ist eine bestehende Datenstruktur weiter zu verbessern und insbesondere zu verfeinern. Wichtigster Punkt dabei ist eine bestmögliche Qualitätssicherung der Daten und eine ausreichend große Datenmenge.

Für den Bodensee lassen sich folgende Ergebnisse aus der Beobachtungsphase ableiten:

1. Der Einsatz des Crowd-Sensing-Ansatzes wird für stationäre Messpunkte als sehr sinnvoll erachtet, da hierbei eine hohe Datengüte erreicht werden kann. Für den Bodensee bedeutet dies, dass z. B. in einer weiterführenden Projektphase mehr feste Messpunkte installiert werden sollten. Hierzu könnten etwa die mobilen Sensoren an stationären Seezeichen angebracht werden. Damit ließe sich die GPS-basierte Ortsbestimmung auf ein Minimum reduzieren, und damit die Batterielaufzeiten erheblich verbessern.
2. Die Beobachtung an den Fähren hat gezeigt, dass eine hohe Datendichte auf engem Raum erzielt werden kann. Da im Winter nur wenige Schiffe unterwegs sind, kann mit der gewonnenen Datendichte im Projekt abgeschätzt werden, dass beim Crowd-Sensing-Ansatz im Winterhalbjahr nicht mit einer flächenhaften Abdeckung zu rechnen ist.
3. Die Datenerfassung von privaten Schiffen hat auf Grund der besonderen Umstände nur in einem sehr geringen Umfang stattgefunden. Die wenigen erhobenen Daten zeigen aber ein plausibles Bild.

4. Mit den bislang zur Verfügung stehenden Daten konnte das vorhandene Modellsystem zur Temperatursimulation im Bodensee noch nicht weiter überprüft und verbessert werden. Da hierfür vor allem ganzjährige Informationen wichtig sind, empfiehlt es sich den Ansatz mit stationären Sensoren für die Modellüberprüfung auszubauen.

Für den Einsatz des Crowd-Sensing-Ansatzes in der Wasserwirtschaft allgemein lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- a) Es ist zu prüfen, für welche Parameter neben der Wassertemperatur noch kostengünstige Sensoren erstellt werden können.
- b) Für Fließgewässer und Grundwasser ist vor allem der Einsatz von stationären Sensoren von Bedeutung.
- c) Auch der Betrieb von stationären Sensoren kann durch ein LoRaWAN-Netzwerk unterstützt werden. Empfehlenswert wäre ein weiterführendes Projekt, um Sensorinformationen im Empfangsbereich der bestehenden Station in Friedrichshafen zu erhalten. Beispielsweise könnten Temperatursensoren entlang der Argen, Schussen oder Rotach ausgebracht werden. Möglicherweise lassen sich auch Grundwassermessstellen mit Sensoren bestücken.

Für die Erfassung von weiteren Umweltinformationen über den CrowdSensing-Ansatz lassen sich bislang nur wenig Schlussfolgerungen ziehen. Hier ist vor allem im Einzelfall zu klären, für welche Parameter eine verbesserte Datendichte erzielt werden kann. Generell gilt sicherlich auch, dass stationäre Sensoren voraussichtlich eine bessere Datenqualität liefern als mobile. Es sind sicherlich Voruntersuchungen notwendig, bei denen Ziele und Erreichbarkeit für die jeweils zu gewinnenden Daten überprüft werden müssen, bevor entsprechende Projekte gestartet werden können.

Übertragbarkeit

Eine Übertragbarkeit der hier vorgestellten Messmethodik am Bodensee bietet sich nicht nur für die Wassertemperatur an. Generell kommen alle Messparameter in Frage, die mit einer unkomplizierten, robusten und kostengünstigen Sensorik erfasst werden können. So ist gewährleistet, dass zum einen die Messgeräte in großer Stückzahl produziert werden können und zum anderen die Qualität der Messergebnisse ausreichend hoch ist. In Frage kommen z. B. meteorologische Größen wie die Lufttemperatur, Luftfeuchte und eventuell Windgeschwindigkeiten. Diese Parameter werden rund um den See an zahlreichen Messstationen erfasst, auf dem See hingegen bislang nicht. Hilfreich wären diese Informationen beispielsweise zur Überprüfung und Validierung der meteorologischen Randbedingungen, die für die Modellsimulationen der Hydrodynamik verwendet werden und dort eine der wichtigsten Antriebsgrößen des Modells darstellen.

Einsatzmöglichkeiten des gezeigten CrowdSensing-Ansatzes sind nicht nur auf Seen beschränkt, sondern sind auch in weiteren Gewässersystemen vorstellbar. Bei größeren Fließgewässern mit Freizeitnutzung kann die am Bodensee verwendete Methodik direkt übertragen werden. Im Grundwasserbereich hingegen ist die mobile Messtechnik nicht anwendbar. Die Fernübertragung von Grundwassermessdaten stationärer Messstellen über LoRaWAN wäre allerdings eine interessante und kostengünstige Alternative zu den bislang verwendeten Übertragungswegen über das Mobilfunknetz. Im Gegensatz zu den kommerziell betriebenen Mobilfunknetzen besteht bei LoRaWAN die Möglichkeit, Regionen ohne vorhandene Funkabdeckung durch eigene Infrastruktur kostengünstig zu versorgen. Dies ist insbesondere für abgelegene oder zugangsbeschränkte Regionen interessant, wie etwa beim Umwelt-Monitoring in Naturschutzzonen.