

# Sensornetzwerk

## **CrowdSensing von Umweltmessdaten am Beispiel von BodenseeOnline**

Enrico Steiger

Institut für Software-Entwicklung und EDV-Beratung AG  
Zur Gießerei 24, 76227 Karlsruhe

Fernando Chaves; Lars Wessels

Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB  
Fraunhoferstr. 1, 76131 Karlsruhe

Ulrich Lang; Stefan Mirbach

Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH  
Heßbrühlstr. 21 D, 70565 Stuttgart

# Kapitelübersicht

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>83</b>
<b>2. Ausgangslage</b> .....	<b>83</b>
<b>3. Projektbeschreibung</b> .....	<b>84</b>
3.1 Architekturkonzept und Entwicklung .....	84
3.1.1 Aufbau des Sensornetzwerks .....	85
3.1.2 Backend Dienste .....	86
3.1.3 Mobile Applikation .....	86
3.2 Wissenschaftliche Validierung .....	87
<b>4. Fazit und Ausblick</b> .....	<b>88</b>
<b>5. Literatur</b> .....	<b>89</b>

# 1. Einleitung

Das Umweltinformationssystem Baden-Württemberg (UIS BW) bietet seit vielen Jahren eine Vielzahl von Werkzeugen an, um der Politik, den Bediensteten von Land und Kommunen sowie für die Bürgerinnen und Bürger den Zugang zu wertvollen Umweltinformationen zu ermöglichen /1/. Damit leistet es einen wesentlichen Beitrag zu erfolgreichem Umwelt- und Klimaschutz und nachhaltiger Umweltvorsorge. Zur kontinuierlichen Weiterentwicklung bestehender Ansätze strebt das Umweltministerium Baden-Württemberg derzeit den Aufbau einer innovativen CrowdSensing<sup>1</sup> Plattform zur Erfassung, Visualisierung und Auswertung von flächendeckenden Umweltmessdaten an. Im Zuge der INOVUM II-Phase wurden dabei neue Lösungsansätze im Bereich der Erforschung und Entwicklung sowie Bereitstellung von Informationen aus den Gebieten Umwelt diskutiert. Ziel ist die Erforschung und prototypische Entwicklung neuer Umweltinformationsdienste. Auf der Grundlage dieser Diskussion haben die beteiligten INOVUM Forschungs- und Entwicklungspartner (FuE) ein Internet der Dinge (Internet-of-Things, IoT) Projekt zur kostengünstigen Gewinnung von flächendeckenden Umweltmessdaten mit In-situ-Sensoren vorgeschlagen, das im Folgenden vorgestellt werden soll.

Neben der Schilderung der Ausgangslage wird auch das Projekt allgemein, sowie das Architekturkonzept vorgestellt. Danach wird auf die wesentlichen fachlichen Fragestellungen, die in dem Projekt beantwortet werden sollen, eingegangen, um abschließend ein Fazit und Ausblick für die zukünftige Weiterentwicklung des hier vorgestellten Ansatzes zu geben.

# 2. Ausgangslage

Im Kontext des Big-Data-Zeitalters geht es immer mehr darum, wie die stetig wachsende Menge an verfügbaren Umweltdaten durch entsprechende Informationssysteme zusammengefasst, strukturiert und Anwendern zur Verfügung gestellt werden können /2/. Einen großen Anteil daran haben ubiquitär verfügbare, kostengünstige IoT-Sensoren mit Verbindung zum Internet. Des Weiteren sind offene Standards, Datenmodelle und Schnittstellen „alltagstauglich“ verfügbar. Eine zentrale Fragestellung bleibt jedoch, wie diese In-situ-Sensoren mit bestehenden Umweltmessdaten validiert und plausibilisiert werden können, um eine flächendeckende Erhebung von Umweltinformationen mit klassischen stationären Messstellen und mobilen Detektoren zu realisieren.

Um diese Fragestellung zu beantworten, wurde die Entwicklung einer mobilen App für Smartphone & Tablet mit Auswertemöglichkeiten von zeitlich und räumlich verteilt erhobenen Sensordaten und eine Open-Source-Plattform zur Bereitstellung von Datenschnittstellen zum Datenaustausch konzipiert. Als innovative Pilotregion wurde hierbei der Bodensee ausgewählt, da über vier Millionen Menschen in rund 320 Städten und Gemeinden mit Trinkwasser aus dem Bodensee versorgt werden und für das wichtigste europäische Wasserreservoir eine

---

<sup>1</sup> CrowdSensing bezeichnet die zeitliche und räumliche Einbindung größerer Bevölkerungsgruppen in die (mobile) Datenerfassung. Diese partizipative Methode eröffnet – je nach Zielstellung der Erhebung mit Blick auf die zu erzielende Datenbasis versus Kosten – Vorteile gegenüber statischen Sensormessnetzen bzw. einzelnen selektiven Messungen.

kontinuierliche Überwachung durch Umweltmessstationen erforderlich ist. Die Erfassung stationärer Umweltmessdaten ist meist kostenintensiv und nicht flächendeckend vorhanden.

### **3. Projektbeschreibung**

Das Projekt „CrowdSensing für BodenseeOnline“ ist eine klassische Forschungs- und Entwicklungsarbeit als Machbarkeitsstudie inklusive Demonstrator, das zusammen mit der Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH (KUP) und dem Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung (IOSB) durchgeführt wird.

Das Fraunhofer IOSB stellt dabei die Plattform für den Demonstrator – einschließlich seiner Open Source-Implementierung des SensorThingsAPI-Standards von OGC (FROST-Server) /3/ sowie den Zugang zu den gemeinsam im Rahmen des Projekts konzipierten, integrierten oder entwickelten Visualisierungs-, Auswerte- und/oder Sicherheitsdiensten – für die Dauer der Piloterprobung bereit.

Im Rahmen des Demonstrators wird eine Ausstattung und die Erprobung von In-situ-Sensoren für Oberflächenwassertemperatur (nach Möglichkeit auch vereinzelt Luftgeschwindigkeit und -richtung) konzipiert und umgesetzt, um eine maximale Übertragbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen. Der FuE-Partner KUP wird die Modelle und Methoden für die wissenschaftliche Validierung der so gewonnenen Daten anhand von vorhandenen qualitätsgeprüften Sensordaten und Simulationen erarbeiten und die Ergebnisse mit dem Institut für Seenforschung der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) diskutieren.

Das Institut für Software-Entwicklung und EDV-Beratung AG (ISB) als langjähriger Entwickler von Software-Lösungen für die öffentliche Verwaltung wird die SensorThingsAPI-Implementierung des Fraunhofer IOSB prototypisch in eine ergonomisch für den Nutzer leicht bedienbare und gleichzeitig langfristig betreibbare Anwendungslandschaft integrieren. Dazu werden die REST-Schnittstelle des FROST-Servers von Fraunhofer IOSB sowie die gemeinsam entwickelten Algorithmen und Visualisierungswerkzeuge in eine mobile Applikation mit grundlegenden Auswertemöglichkeiten der erhobenen Sensordaten integriert. Neben der Sensorsuche und Adresssuche in einer interaktiven Karte und der Validierung von Sensormessdaten werden auch ein Datenexport und Funktionalitäten zur Datenauswertung realisiert.

#### **3.1 Architekturkonzept und Entwicklung**

In Abb. 1 ist die konzipierte Systemarchitektur dargestellt. Grundsätzlich sind alle eingesetzten Tools quelloffen und so umgesetzt, dass sie komponentenorientiert als modulare Mehrschichtarchitektur auch zukünftig eine maximale Erweiterbarkeit in alle Richtungen sicherstellen. Alle eingesetzten Komponenten der Architektur sind komplett Open Source und bieten somit ein lizenzkostenfreies Plattformkonzept. Die Technologie garantiert eine maximale Adaptionfähigkeit an zukünftige Hardware-Entwicklungen – insbesondere auf dem Mobilgeräte-Sektor – ohne von einem Hersteller oder einem Plattformlieferanten abhängig zu sein.

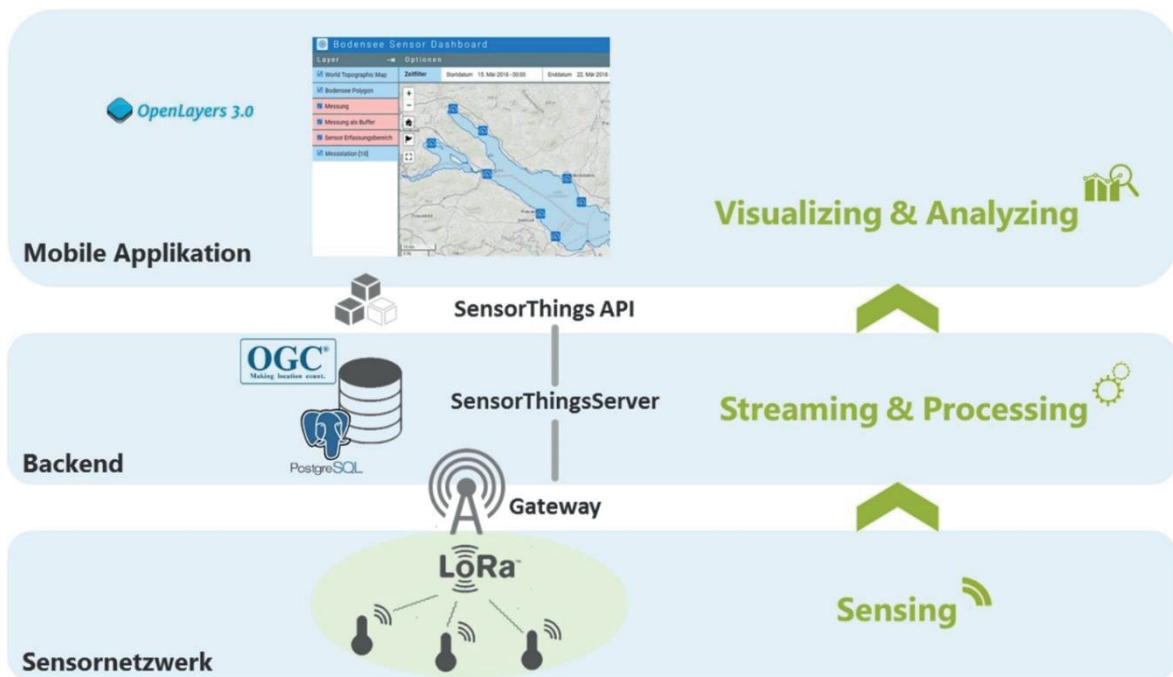


Abbildung 1: Architekturkonzept

### 3.1.1 Aufbau des Sensornetzwerks

Ein CrowdSensing-Projekt, das auf möglichst viele, räumlich verteilte und mobile Sensoren ausgerichtet ist, stellt aufgrund des aktuellen Stands der Technik hohe Anforderungen an sich teilweise widersprechenden Kriterien: Genauigkeit, Zuverlässigkeit, Robustheit der Messungen, einfache Konfiguration und Handhabbarkeit, geringen Energieverbrauch und Mobilität. Darüber hinaus müssen die damit einhergehenden zusätzlichen Anschaffungs-, Installations- und Betriebskosten für die Datenübermittlungs- und Auswertungsinfrastruktur einen Mehrwert gegenüber einem stationären Sensormessnetz mit deutlich weniger Messknoten liefern. Der Aufbau und Betrieb mobiler Sensornetzwerke war in der Vergangenheit mit hohem Kosten- und Personalaufwand verbunden. Aufgrund von Untersuchungen und Erprobungen in früheren Projekten hat sich das Konsortium entschieden, die sich derzeit für IoT-Anwendungen etablierende LoRaWAN-Funktechnologie als Basisinfrastruktur für das skizzierte Anwendungsszenario zu nutzen.

LoRaWAN steht für „Long Range Wide Area Network“ und ermöglicht die Funkübertragung geringer Datenmengen im Spektrum des unlizenzierten ISM-Frequenzbands (Low Bandwidth) je nach geographischen Gegebenheiten über mehr als 20 km (Long Range) bei sehr geringem Energieverbrauch (Low Energy) und damit langer Laufzeit der Endgeräte. Auf dem Markt sind inzwischen preisgünstige und kompakte Sensorsysteme verfügbar, die neben Modulen zur Geolokalisierung per GPS oder GLONASS teilweise bereits LoRaWAN-Transceiver zur Datenübermittlung bieten und/oder über preisgünstige embedded Plattformen (wie Raspberry Pi, Arduino) in ein LoRaWAN-Netzwerk integriert werden können. Die Netzwerkarchitektur eines LoRaWAN ist typischerweise in einer Stern-der-Sterne-Topologie aufgebaut, bei der räumlich verteilte LoRaWAN-Gateways als transparente Funkbrücken fungieren, die die

verschlüsselten Nachrichten („Payload“) über das Internet zwischen einem LoRaWAN-Endgerät und einem zentralen Netzwerkservers austauschen. Der Netzwerkservers ist verantwortlich für Verwaltung und laufende Konfiguration aller registrierten LoRaWAN-Endgeräte und -Gateways und sorgt insbesondere für die logische Vermittlung der verschlüsselten Daten zwischen den zahlreichen Endgeräten und den jeweils zugehörigen, nachgelagerten Anwendungssystemen (hier FROST-Server).

Für die drahtlose Anbindung einzelner LoRaWAN-Gateways an das Internet soll eine weitere preisgünstige Technologie für Internet-Konnektivität auf Basis von Richtfunk über Strecken von 20-30 km bei einer hohen Bandbreite von bis zu 400 Mbit/s mit dem Namen WiBACK eingesetzt werden /4/. Die WiBACK-Knoten werden mit einem LoRaWAN-Gateway gekoppelt und versorgen über Photovoltaik- und/oder Kleinwindanlage sowie einen Akku beide Systeme mit ausreichend Energie für einen längerfristig autarken Betrieb auf bspw. auf einem Dach oder an einem erhöhten Sendemast. In einem ersten Schritt soll vom Fraunhofer IOSB eine Testinfrastruktur am Institut für Seeforschung der LUBW und an einem anderen (noch zu bestimmenden) Standort aufgebaut werden, damit hinsichtlich der Sensordatenerfassung und -übermittlung eine Gesamtabdeckung des Bodensees ermöglicht wird.

### **3.1.2 Backend Dienste**

Mit dem FROST-Server hat das Fraunhofer IOSB einen OGC-Standard als Open Source implementiert, der im Internet der Dinge den Zugang und die Verwaltung umfangreicher Sensordaten und der z.T. sehr heterogenen Metadaten zu Sensoren, Messgrößen, Ort und Zeitpunkt der Datenerhebung, etc. – insbesondere im Hinblick auf die semantische Interoperabilität der Plattform mit anderen Systemen – ermöglichen soll. Der in Java entwickelte FROST-Server implementiert den SensorThingsAPI Standard des Open Geospatial Consortium (OGC) /5/ und wird auf Github unter LGPL zum Herunterladen angeboten /3/. Das OGC hat die Implementierung inzwischen als weltweit erste quelloffene Implementierung zertifiziert. Die API soll ein einheitliches Framework bieten, um IoT-Sensoren, ihre Daten und Anwendungen über das Web zu verbinden. Die Version 1.0 des Servers setzt auf Java EE und nutzt eine PostgreSQL-Datenbank mit Postgis-Erweiterung.

### **3.1.3 Mobile Applikation**

Die mobile Applikation ist als innovative Open Source WebApp Plattform konzipiert und bietet neben der Integration der vom Fraunhofer IOSB bereitgestellten backendseitigen Dienste (FROST) die Möglichkeit, alle IoT Sensordaten, Messstationen und Simulationswerte aus Modellrechnungen zu visualisieren (Abb. 2). Des Weiteren bietet das Dashboard weitere Funktionalitäten, u. a. eine Sensorsuche, Auswertegrafiken, eine zeitlich-räumliche Filterung und die Definition von Sensor-Erfassungsbereichen entlang von Schiffsrouten. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, alle ausgewählten Messwerte in gängige Austauschformate zu exportieren. Das Responsive Webdesign ermöglicht mit Hilfe von HTML5 und CSS3 Media-Queries das einheitliche Anzeigen von Inhalten auf unterschiedlichen Geräten (PC, Tablet, Smartphone) bei gleichbleibender Benutzerfreundlichkeit. Außerdem besteht die Möglichkeit, die

erstellte webbasierte Fachschale – z. B. wenn ein Zugriff auf bestimmte Hardware-Funktionalitäten (GPS-Lokalisation) der mobilen Endgeräte erforderlich ist – in eine hybride Applikation zu integrieren.

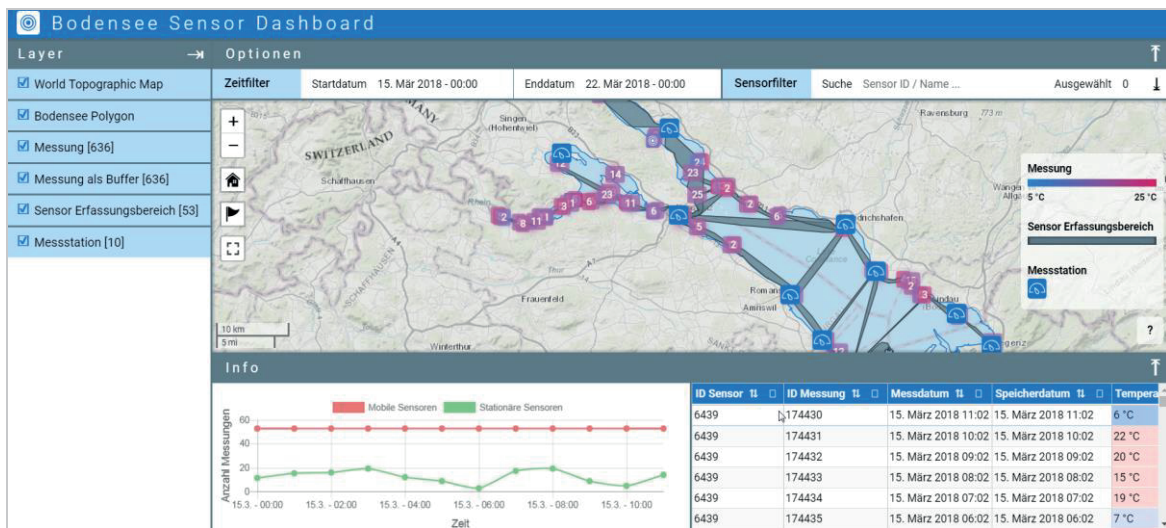


Abbildung 2: Erster Entwurf des Dashboards-Prototyps „CrowdSensing für BodenseeOnline“

### 3.2 Wissenschaftliche Validierung

Der über das Sensornetzwerk gewonnene Datensatz ist sowohl räumlich als auch zeitlich von einer hohen Heterogenität geprägt. Die Routen privater Schiffe sind nicht planbar und zeigen daher eher ein chaotisches Muster an Informationen. Bei schlechten Wetterlagen werden die Boote eher im Hafen liegen und somit Informationen aus dem Hafenbecken liefern. Bei Schönwetterlagen befinden sich die Boote dagegen auf dem See und liefern Daten der Verhältnisse im Freiwasser. Zudem weist die Datendichte eine starke Saisonalität auf. Im Winter sind nur vereinzelt Segelboote unterwegs, in den Sommermonaten dagegen ist mit hohem Segleraufkommen zu rechnen. Ähnliches gilt für den Tagesverlauf sowie den Wochentag. Zudem ist mit weiteren „Störfaktoren“ zu rechnen, wie einer hohen Streuung in der Präzision der Sensoren und der Messunsicherheit, oder defekte Sensoren mit ausbleibenden oder fehlerhaften Werten. Aus diesen Gründen ist eine umfangreiche Validierung der Sensordaten geplant, mit der die Aussagekraft, Repräsentativität und Qualität der Daten beurteilt werden soll.

Zu diesem Zweck stehen zum einen die kontinuierlichen Messdaten der Umweltmessstationen im Bodensee zur Verfügung. Diese Daten gelten als verlässlich, da sie mit hochwertiger Sensorik erfasst und laufend geprüft und plausibilisiert werden. Die Erhebung der Daten ist allerdings kostenintensiv und wird daher auf nur wenige Punkte und Wassertiefen im See beschränkt. Der zweite, zur Validierung verwendete Datensatz besteht aus den Ergebnissen numerischer Modelle, die am Bodensee täglich betrieben werden. Im Rahmen des Verbundforschungsvorhabens BodenseeOnline wurde ein Informationssystem zur Vorhersage der Hydrodynamik und der Wasserqualität aufgebaut, das – gestützt auf numerische Modelle –

täglich Vorhersagen für die nächsten Tage berechnet /6/. Die Modelldaten liefern im Gegensatz zu den Messstationen flächige Informationen für den gesamten See, z. B. Wassertemperaturen (Abb. 3), und sind durch die Daten der Umweltmessstationen validiert.

Anhand dieser umfangreichen Datenbasis können durch Vergleiche und statistische Auswertungen die Daten aus dem Sensornetzwerk analysiert und beurteilt werden. Wie Abb. 3 zeigt, können die Temperaturen an der Wasseroberfläche des Sees räumlich sehr unterschiedlich ausfallen. Diese oft wind- und wetterbedingten räumlichen Muster sowie die Bandbreite der Oberflächentemperaturen werden mit den Sensordaten verglichen und somit deren Repräsentativität beurteilt. Die durch die Messunsicherheit der Sensoren bedingte Streuweite der Messwerte kann bei hoher Datendichte durch räumlich naheliegende Messwerte identifiziert werden. Ähnliches gilt für Ausreißer. Ziel dieser Validierung ist es, entsprechende Datenfilter zu entwickeln, die die beschriebenen Störeffekte identifizieren und eliminieren und somit die Qualität des Datensatzes verbessern.



**Abbildung 3:** Berechnete Wassertemperaturen an der Wasseroberfläche des Bodensees (Quelle: Informationssystem BodenseeOnline der LUBW)

Dabei sollen die Fragen geklärt werden, inwieweit aus dem Datensatz eine abgesicherte, repräsentative und flächendifferenzierte Information abgeleitet werden kann und welche Datendichte bzw. Mindestanzahl an Sensoren für eine abgesicherte Anwendung notwendig ist. Die Antworten werden sicherlich von Messparameter zu Messparameter unterschiedlich ausfallen und werden für diese daher getrennt untersucht.

## 4. Fazit und Ausblick

Mit dem konzipierten Sensor Dashboard können Bürgerinnen und Bürger, aber auch die öffentliche Hand in Baden-Württemberg auf einen Blick den Mehrwert der über CrowdSensing gewonnenen Sensordaten am Beispiel des Bodensees sehen. Die mobile Applikation basiert dabei auf modernen Webtechnologien, nutzt hochverfügbare und wiederverwendbare Open-



Source-Komponenten und ist als microservice-basierte Architektur entwickelt. Damit lässt sich das Portal beliebig erweitern, z. B. durch die Einbindung weiterer Messdaten, um flächendeckend aktuelle Umweltdaten in Echtzeit mobil abzurufen. Durch die Validierung und Analyse der Daten wird deren Qualität beurteilt. Mit entsprechend entwickelten Datenfiltern wird sichergestellt, dass die bereitgestellten Daten repräsentativ und plausibel sind.

Aus wasserwirtschaftlicher Sicht können die Sensordaten möglicherweise zur verbesserten Beurteilung der Wassergüte herangezogen werden. Insbesondere Sensoren zur Algenkonzentration oder zu den Trübungsverhältnissen könnten dazu entscheidend beitragen. Ebenfalls interessant wären entsprechende Sensoren, mit denen Aussagen zur Badewasserqualität abgeleitet werden können. Mit entsprechend ausgestatteten Driftkörpern wäre außerdem die Nachverfolgung von Stoffen auf der Wasseroberfläche, wie Öl oder Treibholz, möglich.

## 5. Literatur

- /1/ Weissenbach, K., Schillinger, W., Weidemann, R.; Hrsg. (2014): F+E-Vorhaben MAF-UIS – Moderne anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung für Umweltinformationssysteme, Phase II 2012/14. Karlsruher Institut für Technologie, KIT Scientific Reports 7665.
- /2/ Alvear, O. et al. (2018): Crowdsensing in Smart Cities: Overview, Platforms, and Environment Sensing Issues. *Sensors* 2018, 18, S. 460.
- /3/ Fraunhofer Open SensorThings Server – FROST-Server, <https://github.com/FraunhoferIOSB/FROST-Server>, abgerufen am 22.05.2018.
- /4/ WiBACK – Wireless Backhaul Technology des Fraunhofer FIT, Sankt Augustin, <https://www.wiback.org/en/wiback-technology.html>, abgerufen am 22.05.2018.
- /5/ <https://github.com/opengeospatial/sensorthings>, abgerufen am 22.05.2018.
- /6/ Lang, U., Kobus, H., Mehlhorn, H. (2008): BodenseeOnline als Entscheidungs- und Unterstützungssystem. In: *Wasserwirtschaft* 98, Heft 10, S. 45-48.