

# Sonderveröffentlichung

## **Standardisierte Bereitstellung und Nutzung von wasserwirtschaftlichen Messdaten**

Eine Heranführung an Sensor Web-Technologien

Mai 2018

Kurz-  
fassung



### Zusammenfassung

Die fortschreitende Digitalisierung unserer Welt betrifft auch die Bereitstellung von Daten wasserwirtschaftlicher Zeitreihen. Es gibt einen Trend, auch diese Daten webbasiert zugänglich zu machen und diese in Geo-Anwendungen einzubinden. In 2012 wurde vom Open Geospatial Consortium (OGC) für diesen Zweck die WaterML 2.0-Spezifikation zur Ergänzung der Sensor Observation Service-Spezifikation (SOS) als Datenaustauschstandard für hydrologische Messdaten veröffentlicht. Diese Standardisierung wird von diversen überregional tätigen Softwareentwicklern und hydrologischen Institutionen (z. B. WMO) unterstützt. Nicht zuletzt wird WaterML 2.0 als Standard zur Bereitstellung von Messdaten im Kontext der europäischen INSPIRE-Richtlinie empfohlen. Aufgrund dieser Entwicklung wird diesem neuen Standard eine gute Chance eingeräumt, sich sowohl als maßgebliche Web-Technologie als auch als domänenspezifisches Datenaustauschformat zu etablieren.

Der vorliegende Beitrag ist ein Auszug aus der DWA-Sonderveröffentlichung „Standardisierte Bereitstellung und Nutzung von wasserwirtschaftlichen Messdaten – Eine Heranführung an die Sensor-Web-Technologien“ auf. Die Sonderveröffentlichung kann als PDF-Dokument kostenlos von der Internetseite der DWA [<http://www.dwa.de>] heruntergeladen werden.

Die DWA-Sonderveröffentlichung soll bei der Entscheidungsfindung helfen, ob der OGC-Ansatz für die eigene Datenbereitstellung der geeignete Weg ist. Als Handlungsempfehlung dient sie als Wegweiser, wie interoperable Standards, insbesondere die Sensor Web Enablement-Technologie (SWE) des Open Geospatial Consortiums (OGC) genutzt werden können um Messdaten als Bestandteil von Geodateninfrastrukturen bereitzustellen. Darüber bietet die Sonderveröffentlichung diverse praktische Beispiele, um die Beauftragung einer technischen Umsetzung zu unterstützen.

Die primäre Zielgruppe der DWA-Sonderveröffentlichung „Standardisierte Bereitstellung und Nutzung von wasserwirtschaftlichen Messdaten – Eine Heranführung an die Sensor-Web-Technologien“ sind Bereitsteller von wasserwirtschaftlichen Messdaten (punkt- und zeitbezogene Daten – mit wiederkehrender Beobachtung), die ihre Daten webbasiert verfügbar machen wollen und gleichzeitig die Interoperabilität der Daten steigern möchten.

#### Schlagwörter:

Digitalisierung, hydrologische Zeitreihen, Standards, wasserwirtschaftliche Messdaten, WaterML 2.0-Standard, INSPIRE-Richtlinie

#### Abstract

The ongoing digitization of our world also affects the providing of hydrologic data time series. There is a tendency to make this data accessible via Web. This development has been addressed by the Open Geospatial Consortium (OGC). In 2012 the WaterML 2.0 standard, a specialization of the Observations and Measurements (O&M) standards for hydrological data, supplementing the Sensor Observation Service standards (SOS) has been released. This standardization is supported by various supra-regional software developers and hydrologic institutions (eg. WMO). Last but not least this standard is recommended by the INSPIRE-Directive as the favorite download service for time series data. Due to this development this new standard has a good chance to establish as an authoritative Web technology as well as a domain specific data exchange format.

This article is a text excerpt of a special DWA-Publication “Standardised Preparation and Utilisation of Water Management Performance Data – An Introduction to the Sensor Web-Technologies”. The special DWA-publication can be download free of charge as a PFD-Dokument from the DWA Internet Site [<http://www.dwa.de>].

The DWA-Publication should help in deciding whether this OGC approach is an appropriate way for your own data provision. Is a decision made in favor of the OGC Sensor Web Enablement Techniques

(SWE), the DWA-Publication will give guidance for an in-house or externally commissioned technical implementation of the standards. Furthermore you will find several practical examples to support the technical implementation.

The primary target group of this article are providers of water management data (point and time-related data – with recurrent observation), who want to make their data web-based available and at the same time want to increase the interoperability of their data.

### **Keywords:**

digitization, hydrologic time series, standards, water management measuring data, WaterML 2.0 standard, INSPIRE Directive

## **Einführung**

Verantwortungsvolles Handeln braucht verlässliche Informationen, auf deren Grundlage Entscheidungen getroffen werden können. Der Komplexität gegenwärtiger Herausforderungen kann häufig nur noch mit einer globalen Herangehensweise angemessen begegnet werden. Ein einfacher (globaler) Informations- und Datenaustausch ist deswegen von großer Bedeutung für die Lösung vieler Probleme unserer Zeit. Insbesondere ein medienbruchfreier Austausch von Daten macht die Abstimmung hinsichtlich der Art und Weise, wie Informationen übermittelt werden, zwingend notwendig. Die rasante digitale Entwicklung hinterlässt uns eine kaum noch überschaubare Vielzahl an Datenaustauschformaten und -techniken. Auch der webbasierte Austausch von Messdaten wird zwischenzeitlich durch eine Vielzahl von verschiedenen Formaten und Techniken gekennzeichnet. In Zeiten einer fortschreitenden Digitalisierung und einer damit einher gehenden, technisch getriebenen, stetig wachsenden Datenflut hat sich dieses Problem für viele Nutzer von Daten verschärft. So ist die Erwartungshaltung vieler Entscheidungsträger in Zeiten von „Big Data“ und „Smart Data“ hoch. Doch ist den meisten Personen, die ein Endprodukt sehen, zumeist nicht der immense Aufwand, der im Datenmanagement zur Aufbereitung des Produktes betrieben werden muss, bewusst. So wird heute in der Regel bei der Projektierung von F&E-Projekten mit Datenauswertung ein maßgeblicher Anteil der Projektkosten der vorbereitenden Datenbereitstellung zugestanden. Substantieller Bestandteil dieser Vorarbeiten ist immer wieder die Homogenisierung von Daten durch inhaltliche Transformationen und Formatänderungen. Eine spezifische Folge des weiter wachsenden Portfolios an Datenaustauschformaten und -techniken ist die Notwendigkeit, Anwendungssoftware in der Hydrologie und Wasserwirtschaft stetig kostenintensiv weiter- bzw. neu zu entwickeln. Um diesem Problem zu begegnen, bietet sich der Einsatz von weithin akzeptierten Standards an. Durch die Verwendung dieser technischen Standards muss pro Datenquelle und pro Client-Anwendung jeweils (nur) einmal eine Anpassung an den Standard erfolgen: Datenquellen müssen ihre Daten entsprechend der Spezifikationen dieses Standards bereitstellen können und Client-Anwendungen müssen diese Schnittstelle ansprechen und verstehen können. Sollen nun weitere Datenquellen oder Client-Anwendungen eingebunden werden, ergeben sich am bestehenden System keine Anpassungsbedarfe, da alle weiteren Komponenten über die abgestimmten Standards integriert werden können. Abbildung 2 macht dies deutlich: Verschiedene Datenbereitsteller stellen jeweils Server bereit, welche ihre Daten (diese liegen in individuellen Datenhaltungssystemen vor) über einen gemeinsamen Schnittstellenstandard zugreifbar machen. Gleichzeitig existiert eine Schicht von Client-Anwendungen, welche diese Daten über ein Netzwerk bzw. das WWW konsumiert und dabei den gemeinsamen Datenzugriffsstandard nutzt, so dass Daten unterschiedlicher Anbieter reibungslos geladen werden können.

## Die Sensor Web-Technologie des OGC

Zum Umgang mit Mess- und Beobachtungsdaten wurde vom OGC, der globalen Institution zur Standardisierung im Bereich von Geodaten, das Konzept des Sensor Web für den Bereich der Sensordaten entwickelt. Die grundlegende Idee beim Sensor Web ist es, ähnlich wie bei anderen Standards der Geodateninfrastruktur, von Unterschieden in der zugrundeliegenden Infrastruktur zu abstrahieren und einheitliche (webbasierte) Schnittstellen und Datenformate anzubieten. Dies soll Interoperabilität in zwei verschiedenen Ausprägungen sicherstellen.

- Horizontale Interoperabilität: Systeme unterschiedlicher Hersteller können aufgrund gemeinsamer Schnittstellen, Datenmodelle und Datenformate reibungslos miteinander kommunizieren.
- Vertikale Interoperabilität: Software auf verschiedenen Schichten (z. B. Datenviewer und Datenquellen) kann im Sinne eines Plug-and-Play-Ansatzes mit einander interagieren ohne dass technische Anpassungen notwendig sind.

Das Ergebnis des Konzepts ist eine Familie von Standards, welche unter dem Begriff OGC Sensor Web Enablement (SWE) zusammengefasst werden (Abbildung 1). Einteilen lassen sich diese Standards in zwei Gruppen: Standards für Datenmodelle und -formate sowie Standards für (Web Service-) Schnittstellen, welche die Funktionalität des Sensor Web bereitstellen. Wichtig ist es darauf hinzuweisen, dass es sich bei diesen Standards um offene Spezifikationen handelt, welche von Software-Anbieter ohne Lizenzkosten oder sonstige Einschränkungen implementiert werden können. Hierbei gilt die folgende Unterscheidung im Hinblick auf die Terminologie:

- Spezifikation eines Standards: Definition von Datenformaten und/oder Operationen mit ihren Parametern
- Implementierung eines Standards: Software-Paket (Client oder Server), welches die Datenformate und/oder Schnittstellen eines Standards umsetzt.
- Installation einer Implementierung eines Standards: Ein Betreiber eines Servers kann ein Software-Paket, welches einen Standard implementiert, installieren, um Daten entsprechend der Spezifikationen des Standards zu veröffentlichen.

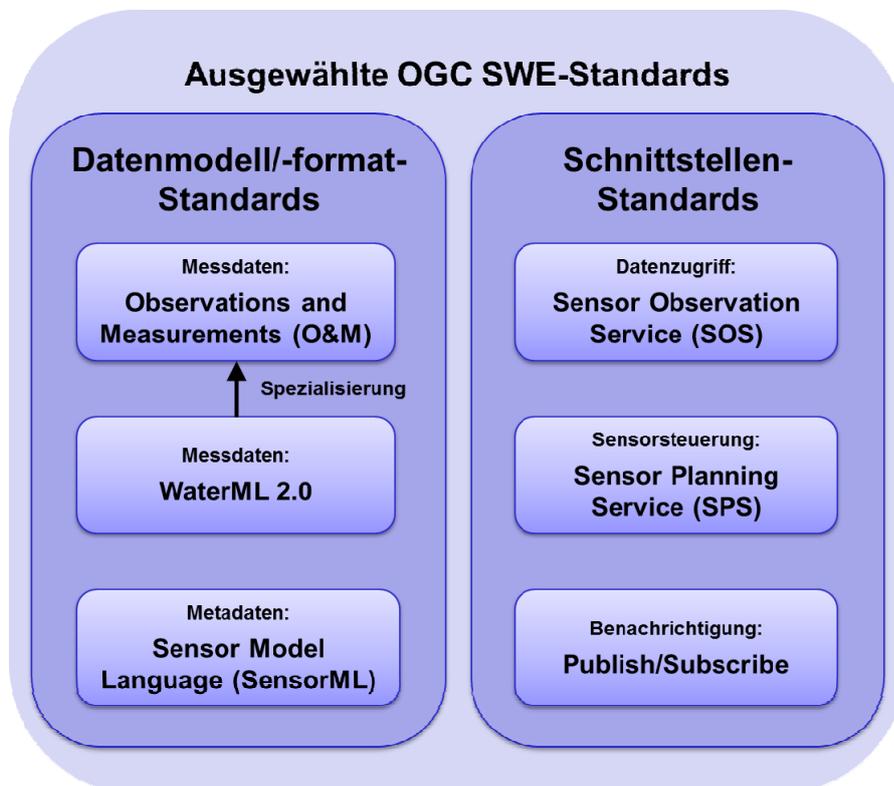


Abbildung 1: Überblick über ausgewählte OGC SWE-Standards

## Standardisierte Bereitstellung und Nutzung von wasserwirtschaftlichen Messdaten

Die SWE-Standards für Datenmodelle und -formate umfassen vor allem zwei wichtige Spezifikationen, welche einerseits die Modellierung und Kodierung der eigentlichen Messdaten beschreiben und andererseits ein Format für die zugehörigen Metadaten. Für die Messdaten besteht der Observations and Measurements-Standard (O&M). Dieser umfasst sowohl ein (UML-basiertes) Datenmodell (ISO-Standard) [18] und eine Spezifikation wie dieses Datenmodell auf XML-Dokumente abzubilden ist (OGC-Standard) [11]. Hinzuweisen ist hierbei weiterhin auf den OGC WaterML 2.0-Standard [22], welcher eine O&M-Spezialisierung für hydrologische Daten darstellt. Für die Metadaten zu Messdaten und Sensoren liefert der OGC Sensor Model Language-Standard (SensorML) [3] sowohl ein Datenmodell als auch eine Vorschrift zur XML-Kodierung.

Bei den SWE-Standards, welche die Funktionalität spezifizieren, d. h. primär Web Service-Schnittstellen, ist vor allem der OGC Sensor Observation Service-Standard (SOS) [7] zu nennen. Dieser Standard spezifiziert, wie Client-Anwendungen Messdaten anfragen und passende Abfragefilter an einen SOS-Server senden können, so dass dieser die entsprechenden Daten zurückliefert. Für die Inhalte dieser Antworten greift die SOS-Spezifikation auf die oben genannten SWE-Standards für Datenmodelle und -formate zurück. Die SOS-Schnittstelle ist auf die Bereitstellung punkt- und zeitbezogener Messdaten mit wiederkehrender Beobachtung zugeschnitten. Darüber hinaus existieren ein Standard zur Steuerung von Sensoren (OGC Sensor Planning Service (SPS) [21]) sowie Spezifikationen, um Messdaten bzw. Benachrichtigungen im Falle bestimmter Messwerte abonnieren zu können (OGC Publish/Subscribe Standard [4], [5]).

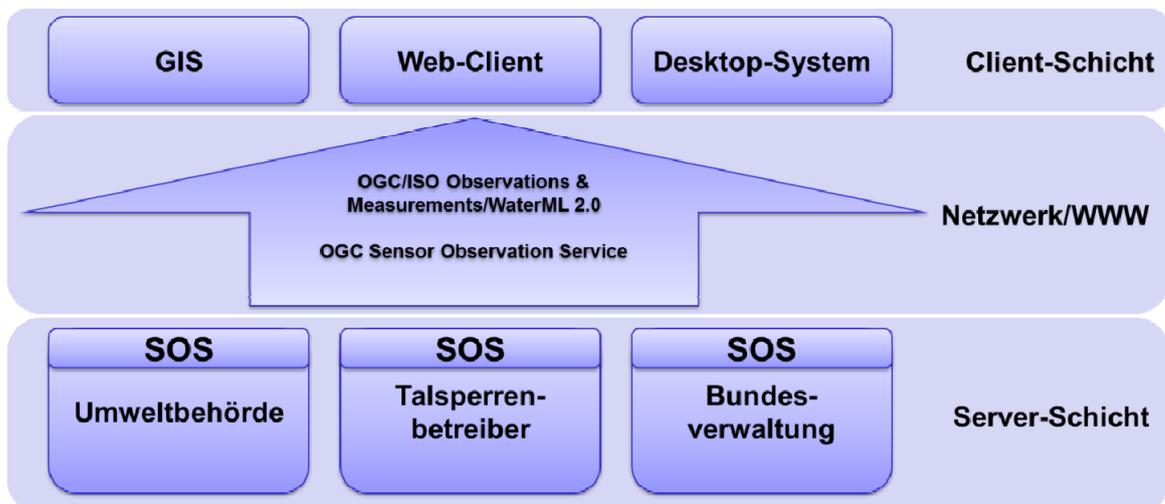


Abbildung 2: Beziehungen zwischen Client-Anwendungen und Datenquelle unter Nutzung der SOS-Standards

Die hier kurz beschriebene Sensor Web-Technologie birgt das reale Potential, hinsichtlich der zuvor skizzierten Probleme mittelfristig Abhilfe zu schaffen. Zum einen liefert der technische Ansatz offener, standardisierter, webbasierter Serverdienste direkt für jeden Interessenten eine maschinenlesbare Schnittstelle zur Entwicklung clientseitiger Anwendungssoftware. Zum anderen stellt WaterML 2.0 das erste international standardisierte Format für hydrologische Zeitreihen in diesem technischen Umfeld bereit. Aufgrund seiner hohen Relevanz konnten verschiedene nationale und internationale Organisationen diesen Standard in das Blickfeld und den Aktionsraum der WMO-Mitgliedsstaaten rücken. So erarbeitet die WMO Commission for Hydrology momentan eine Empfehlung für WaterML 2.0 als hydrologisches Datenaustauschformat<sup>1,2</sup>. Diese globale Aufmerksamkeit auf der einen Seite im Bereich der operativen hydrometeorologischen Dienste und auf der anderen Seite bei den führenden Softwareherstellern ist wegweisend für eine Chance bisher ungekannter Dateninteroperabilität auf lokaler, regionaler und globaler Ebene.

1 [http://www.whycos.org/wordpress/?page\\_id=929](http://www.whycos.org/wordpress/?page_id=929)

2 [http://meetings.wmo.int/EC-69/English/2.%20PROVISIONAL%20REPORT%20\(Aproved%20documents\)/EC-69-d05-2-WIS-approved\\_en.docx?Web=1](http://meetings.wmo.int/EC-69/English/2.%20PROVISIONAL%20REPORT%20(Aproved%20documents)/EC-69-d05-2-WIS-approved_en.docx?Web=1)

## Standardisierte Bereitstellung und Nutzung von wasserwirtschaftlichen Messdaten

Eine besondere Rolle spielt hierbei auch die Aufnahme des OGC Sensor Observation Service-Standards in die INSPIRE Technical Guidance-Dokumente für Download Services [17]. Somit wird der SOS-Standard empfohlen um Messdaten in INSPIRE-konformer Weise zum Download anzubieten.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Idee der Wasserwirtschaft 4.0. Ausgehend vom Begriff der Industrie 4.0, also der Verknüpfung der industriellen Produktion mit modernen Informations- und Kommunikationstechniken, spielt hierbei die Vernetzung verschiedenster Elemente wie z. B. Kanal- und Leitungsnetzen, Pumpstationen, Sensorik usw. eine große Rolle. Die Erhebung und Verteilung von Echtzeit-Daten wie auch historischen Messungen wird in diesem Zusammenhang ein wichtiger Faktor sein. Berücksichtigt man die Vielfalt der Datenquellen und Datenkonsumenten in solchen Wasserwirtschaft 4.0-Systemen, ist die Nutzung einheitlicher Standards zur Sicherstellung der Interoperabilität unverzichtbar. Nur so lässt sich ein Plug-and-Play von Komponenten unterschiedlicher Hersteller aber auch der Datenaustausch zwischen Organisationen effizient ermöglichen. Die Sensor Web-Standards können hierfür einen wichtigen Baustein liefern.

Auch für Open Data-Aktivitäten, welche in Europa sowie auf Bundes- und Länderebene immer stärker vorangetrieben werden, spielen Datenzugriffsstandards eine große Rolle. Viele Aktivitäten setzen zunächst zwar auf die Veröffentlichung von Daten ohne spezifische technische Vorgaben, jedoch wird die Nutzbarkeit der Daten durch die Verwendung interoperabler Schnittstellen und Datenformate signifikant erhöht. Wenn Nutzer ihre Software nicht an spezifische Datenquellen anpassen müssen oder aufwendige Konvertierungsarbeiten vermeiden können, steigt der Wert der Daten für die Allgemeinheit. Auch hier können die in dieser Handlungsempfehlung beschriebenen Sensor Web-Standards eine wichtige Hilfe sein.

Im weiteren Text soll es darum gehen, die Möglichkeiten und Grenzen der Technologie zu beleuchten, um dem Interessenten eine praxisnahe Hilfe bei seiner Entscheidung über eine Investition in diese Technologie zu geben.

### Anwendungsfelder der Technologie

Der englischsprachige Titel des SOS-Standards lässt vermuten, dass die Technik auf einen Sensor als Messfühler ausgelegt ist. In der Hydrologie bzw. wasserwirtschaftlichen Anwendung wäre dies typischer Weise ein Messfühler – beispielsweise zur Wassertemperaturmessung im Gelände oder zur Messung von Wasserständen an Pegeln im Gewässer oder zur Überwachung von wasserwirtschaftlichen Bauwerken – der mit einem Internetzugang ausgestattet ist und in regelmäßigen Intervallen oder zu ereignisbezogenen Anlässen Daten nahe Echtzeit an eine Daten weiterverarbeitende Instanz übermittelt. Die Anwendungsszenarien sind so vielfältig wie die punkt- und zeitbezogenen operativen Messungen dieser fachlichen Domäne.

Interessanter Weise wächst die Anzahl möglicher Anwendungsfälle dieser Technologie noch um ein Vielfaches, wenn man den Schwerpunkt der Betrachtungen nicht allein auf den nahe Echtzeit wirkenden Sensor reduziert sondern den Aspekt der standardisierten, webbasierten Datenbereitstellung in den Fokus der Betrachtungen rückt. In diesem Fall kann der Sensor durch eine beliebig geartete Datenquelle ersetzt werden. Typischer Weise wäre dies eine datei- oder datenbankgestützte Datenhaltung, die wiederum nicht nur ungeprüfte nahe Echtzeitdaten bereitstellt sondern sehr wohl auch geprüfte und/oder historische Datenreihen vorhalten kann. Ebenso ist, wie in [1] beschrieben, sogar die Bereitstellung von Vorhersagedaten als Ergänzung zu beobachteten/gemessenen Daten möglich.

Will man die Technologie einsetzen, muss man als Datenbereitsteller zumindest einen entsprechenden SOS-Server einrichten. Will man hingegen die eigenen oder von anderen mit einem SOS-Server bereitgestellten Daten nutzen, benötigt man eine Anwendungs-/Clientsoftware, die diesen OGC-Standard unterstützt (vgl. Abbildung 2). Grundsätzlich lassen sich zwei Nutzungsszenarien unterscheiden. Das eine Szenario lässt sich unter dem Aspekt Maschine-Maschine-Kommunikation beleuchten. Hierunter soll die Nutzung des Datenstroms eines SOS-Servers zur unmittelbaren maschinellen Weiterverarbeitung verstanden werden. Typische Anwendungen wären die Speicherung

## Standardisierte Bereitstellung und Nutzung von wasserwirtschaftlichen Messdaten

von Sensordaten in einem spezifischen Datenmodell für eine spätere Nutzung oder aber die unmittelbare Verarbeitung von Sensordaten in numerischen Modellen zur Berechnung abhängiger Parameter. Ein anderes Szenario lässt sich unter dem Aspekt der Mensch-Maschine-Kommunikation betrachten. Da wir uns in der Welt der Zeitreihen bewegen, stehen als Anwendung hier zumeist Viewer/Betrachter für Zeitreihen im Fokus. Aber auch die Ableitung und Darstellung statistischer Angaben aus den Daten der Zeitreihen (z. B. Hauptwerte von Pegeln) sind typische Nutzungen. Im Kontext der Mensch-Maschine-Interaktion gewinnt der Faktor Zeit eine andere Bedeutung, geht es doch letztlich um die Performanz einer Clientsoftware. Zwischenzeitig gibt es sowohl kommerzielle als auch freie Desktop- (z. B. GIS-Software) und Web-Software zur Darstellung von SOS-Zeitreihen.

Zusammenfassend lassen sich folgende technische Funktionen der Sensor Web-Technologie identifizieren:

- Suche nach Beobachtungs- und Messdaten sowie nach Sensoren, Sensorsystemen und Messprozessen, welche diese Daten generiert haben
- Bereitstellung von Metadaten zu Beobachtungs- und Messdaten, z. B. Informationen über die zugrundeliegenden Messprozesse, die Datenqualität, die Kalibrierung von Sensoren oder zuständige Ansprechpartner
- Bereitstellung bzw. Abruf von Beobachtungs- und Messdaten über Web Service-Schnittstellen, welche präzise definierte Abfragefilter anbieten
- Abonnieren/Publizieren von Benachrichtigungen anhand von Messwerten (z. B. Vergleich aktueller Messwerte mit nutzerdefinierten Grenzwerten)
- Steuerung von Sensoren um bestimmte Messungen vorzunehmen

Innerhalb von Körperschaften die schon SOS-basierte Lösungen einsetzen (z. B. über bereits bestehende wasserwirtschaftliche Software-Pakete), können Synergien durch den Einsatz identischer Techniken gewonnen werden. Werden z. B. bereits einzelne Datensätze über SOS/WaterML 2.0-konforme Systeme bereitgestellt, so ist es sinnvoll im Zuge der Weiterentwicklung auch andere Systeme damit auszurüsten. Dies vereinfacht die Integration bislang getrennter Datenquellen und erlaubt somit potentiell die schnelle Ableitung bisher nicht direkt verfügbarer Informationen.

Tabelle 1 zeigt Beispiele möglicher Einsatzfelder. Für ausgewählte Einsatzszenarien werden detailliertere Beschreibungen von Umsetzungsbeispielen referenziert. Dort werden weitere Informationen über Motivation, Art der Umsetzung und Erfahrungen beschrieben.

Tabelle 1: Beispielhafte Einsatzszenarien der Sensor Web-Technologie

Anwendungsfall	Mögliche Daten-Bereitsteller	Mögliche Daten-Nutzer	Datenart	Stand der Implementierung 2017	Referenz
Hochwasser-monitoring	Landesinstitutionen, benachbarter Wasserverband	Wasser-verband, Öffentlichkeit	Wasserstände, Abflüsse, Wetterdaten	Es gibt Beispiele in Produktivbetrieb	4.1.4
Grundwasser-monitoring in Bergsenkungsgebieten	Wasserverband	Kommunen, Verbandsmitglieder	(Grund-) Wasserstände, Wetterdaten	Es gibt Beispiele in Produktivbetrieb	4.1.5
Ökologisches Monitoring von Feuchtgebieten	Trinkwasserversorger	Aufsichtsbehörde Naturschutz	Grundwasserfördermengen, (Grund-) Wasserstände	Nicht bekannt	
Gewässergüte Monitoring	Betreiber	Aufsichtsbehörde Naturschutz	Gewässeranalytik	Erste Praxisbeispiele vorhanden	4.1.2
Gewässerökologisches Monitoring (WRRL)	Landesumweltamt	Benachbartes Landesumweltamt	Biologische Artenerhebungen	Höhere Komplexität, Anwendungen noch in Entwicklung	

## Beispiele für SOS-Anwendungs-/Clientsoftware

An dieser Stelle sollen verschiedene Beispiele für SOS-Anwendungs-/Clientsoftware (kurz SOS-Viewer) vorgestellt werden. Hierbei werden Lösungsmöglichkeiten für verschiedene Typen von Plattformen und Nutzern gezeigt. Dieser Überblick erhebt allerdings keinen Anspruch auf Vollständigkeit sondern dient dazu, verschiedene Möglichkeiten zur Nutzung von SOS-Servern als Datenquelle zu veranschaulichen.

### SOS.js

Ein Beispiel für eine SOS-Client-Anwendung ist SOS.js<sup>3</sup>. Diese vom British Antarctic Survey entwickelte Open Source-Anwendung beruht auf JavaScript und kann innerhalb von Web Browsern genutzt werden. Hierbei handelt es sich um einen SOS-Client welcher sowohl eine Kartendarstellung der verfügbaren Messstationen (Abbildung 3) als auch eine Diagrammansicht der gemessenen Daten (Abbildung 4) bietet.

SOS.js basiert auf einer direkten Interaktion zwischen Client und SOS-Server. D. h. SOS.js verwendet direkt die SOS-Operationen, so dass die Logik zur Interaktion mit SOS-Servern sowie zur Kodierung

<sup>3</sup> <https://github.com/paul-breen/sos-js>

## Standardisierte Bereitstellung und Nutzung von wasserwirtschaftlichen Messdaten

von Anfragen/Dekodierung von Server-Antworten im Client, d. h. also im Web Browser, umgesetzt ist. Dies hat den Vorteil, dass die Interaktion zwischen Client und Server keine weiteren Komponenten erfordert und eine direkte Kommunikation aufgebaut wird. Damit ist allerdings z. B. auch verbunden, dass die Verarbeitung von SOS-Antworten (d. h. insbesondere das Parsen von XML-Dokumenten) innerhalb der Client-Anwendung zu leisten ist.

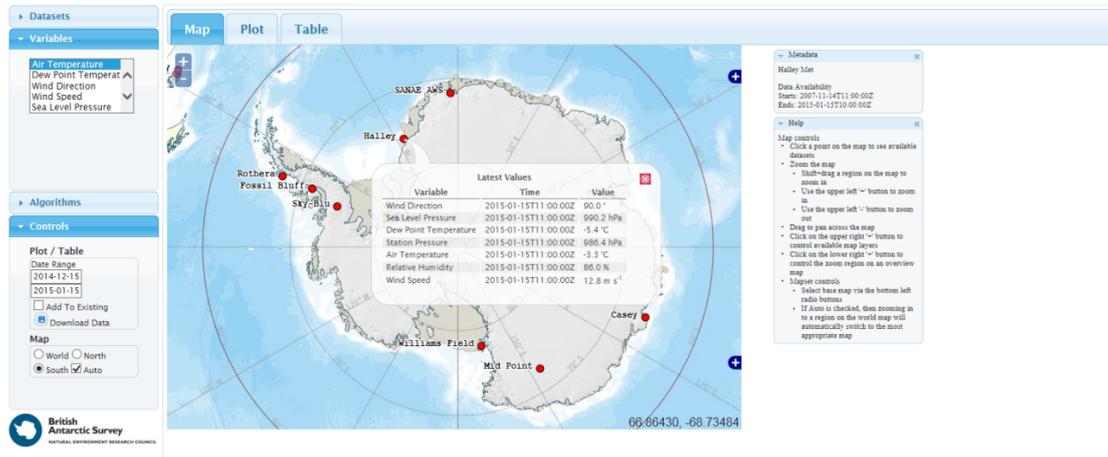


Abbildung 3: SOS.js – Beispiel für einen SOS-Client, welcher direkt mit SOS-Servern interagiert

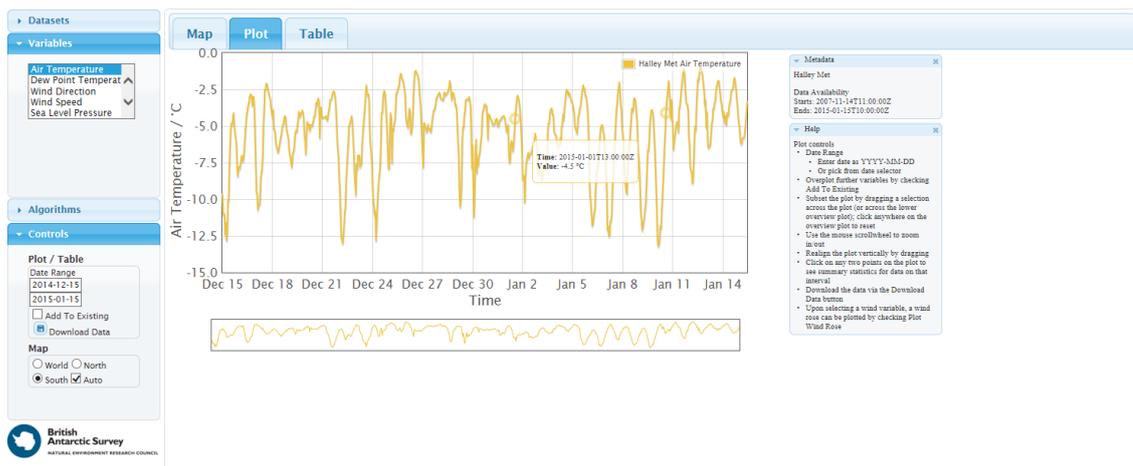


Abbildung 4: SOS.js – Diagrammdarstellung

## 52°North Helgoland

Der 52°North Helgoland, ein JavaScript SOS-Client, ist ein weiteres Beispiel für einen webbasierten SOS-Viewer. Dieser Client folgt einem sogenannten Responsive Design-Asatz, d. h. die Erscheinung des Clients in einem Web Browser wird automatisch entsprechend des Geräts (z. B. Mobiltelefon, Tablet, Desktop-Browser) auf dem er genutzt wird angepasst. Neben einer Kartenansicht (Abbildung 6), bietet dieser Client verschiedene Formen der Messdatendarstellung wie z. B. Tabellen und Diagramme.

Wie bereits dargestellt, ist die direkte Interaktion zwischen SOS-Server und -Client mit gewissen Nachteilen verbunden, wenn z. B. Hardware mit eingeschränkter Leistungsfähigkeit oder langsamer Internet-Anbindung genutzt wird. Um dieser Herausforderung zu begegnen wird in diesem Fall die Geschäftslogik zur Interaktion mit SOS-Servern in einer serverseitigen Komponente gekapselt, wie in Abbildung 5 dargestellt, wird zu diesem Zweck eine Server-Komponente zwischengeschaltet, welche die Kommunikation mit dem SOS-Server übernimmt, Metadaten ggf. zwischenspeichert und dem SOS-Client eine leichtgewichtige Schnittstelle (z. B. über REST und JSON) bietet, über welche die Client-Funktionalität implementiert werden kann. Eine solche Server-Komponente kann so aus-

## Standardisierte Bereitstellung und Nutzung von wasserwirtschaftlichen Messdaten

gelegt werden, dass mehrere SOS-Server gleichzeitig verwaltet werden können und die Client-Applikation die Möglichkeit hat, gezielt die Informationen abzufragen, welche für eine bestimmte Funktion erforderlich sind.

Die Vorteile dieses Ansatzes liegen in einem deutlich geringeren Daten- und Metadatenvolumen, welches an den Client zu übertragen ist, in der Möglichkeit rechenaufwändigere Operationen wie das Parsen von (großen) XML-Dokumenten auf leistungsfähigerer Hardware durchzuführen und in der Option Metadaten über verfügbare Daten zu cachem, so dass von der Client-Anwendung schneller ermittelt werden kann, welche Daten zur Verfügung stehen. Potentielle Nachteile liegen dagegen darin, dass eine weitere Komponente erforderlich wird, dass zusätzliche, neue SOS-Server nicht direkt im Client ausgewählt werden können, sondern serverseitig konfiguriert werden müssen und dass eine Zugriffskontrolle für Messdaten nicht direkt auf dem SOS-Server aufgesetzt werden kann, sondern dass dies in Kombination mit der zusätzlichen Server-Komponente gelöst werden muss.

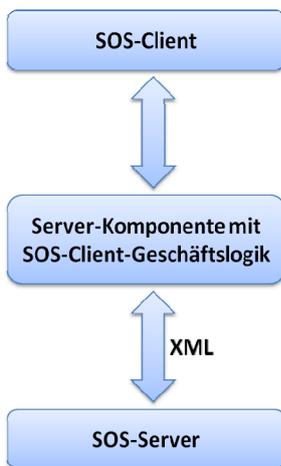


Abbildung 5: Server-seitige Kapselung der Geschäftslogik zur Interaktion mit SOS-Servern

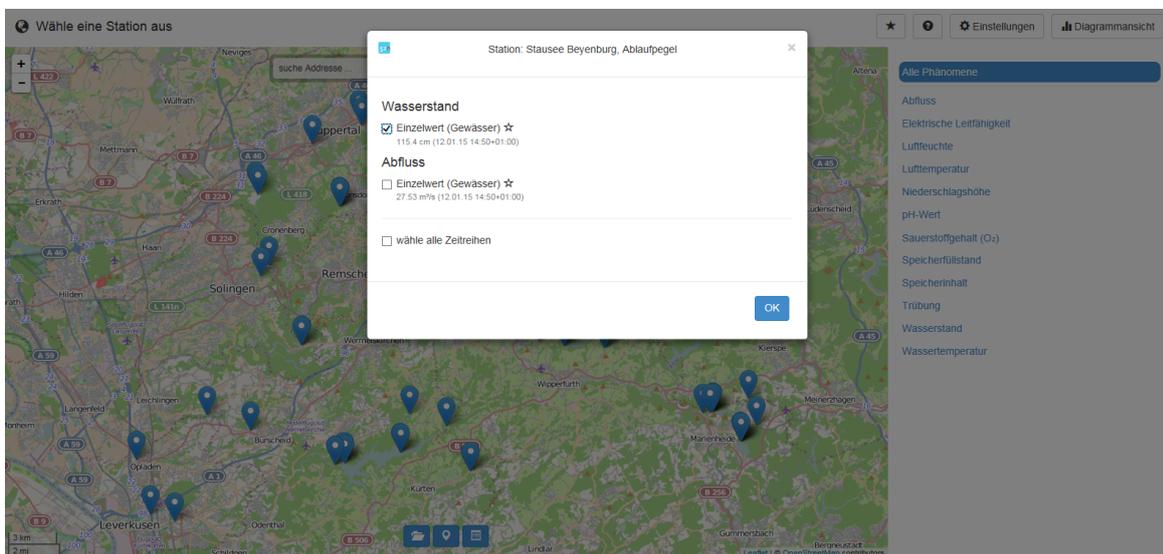


Abbildung 6: JavaScript SOS-Client – Menü zur Auswahl einer Zeitreihe

## KISTERS Timeseries Widget

Das KISTERS Timeseries Widget ist ein Beispiel für einen Ansatz wie Zeitreihendaten eines SOS-Servers auf einfache Weise in Web-Seiten eingebunden werden können. So besteht die Möglichkeit, serverseitig vorgeordnete Grafiken (Diagrammdarstellungen) zu verwenden (Abbildung 7).

Ein Anwendungsbeispiel für diese Technologie ist das WorldWaterOnline-Portal (Abbildung 8).

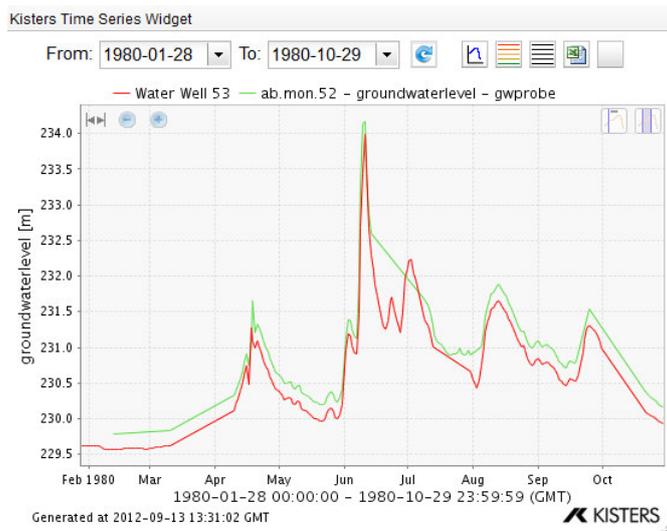


Abbildung 7: KISTERS Timeseries Widget mit serverseitig produzierten Grafiken

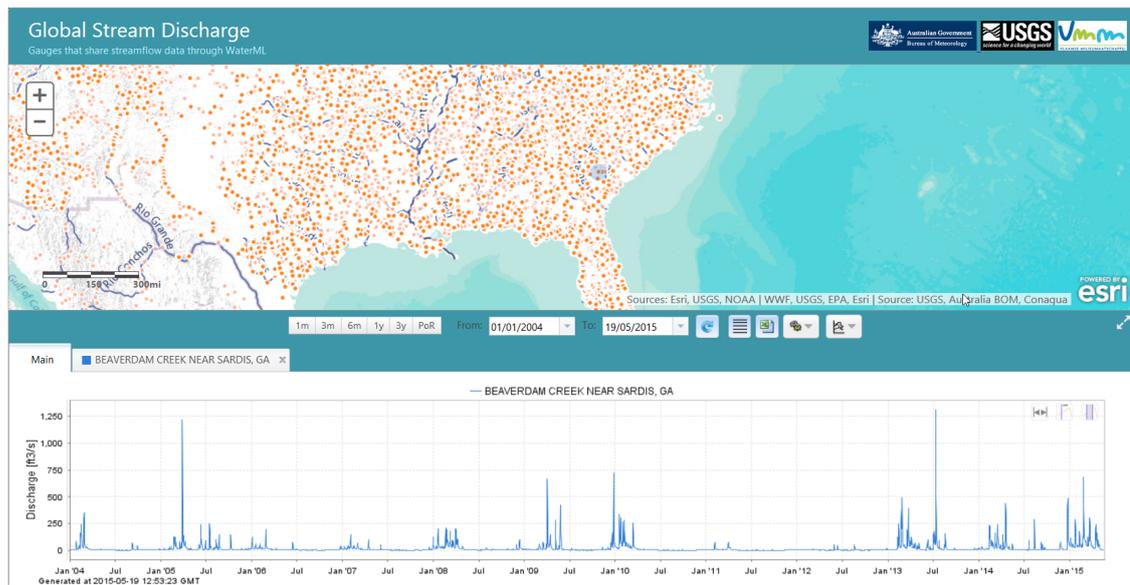


Abbildung 8: KISTERS WIDGET SOS-Implementierung für WorldWaterOnline

## con terra map.apps SOS-Erweiterung

Das Produkt map.apps<sup>4</sup> der Firma con terra ermöglicht die einfache, fokussierte Erstellung webbasierter GIS-Funktionalitäten. Für dieses Produkt existiert eine erste Version einer SOS-Erweiterung, so dass Daten von SOS-Servern konsumiert werden können. Diese SOS-Erweiterung bietet neben Funktionen wie Karten- und Diagrammdarstellung (Abbildung 9) auch die Möglichkeit aktuelle Trends anzuzeigen, welche an Messstellen vorliegen.

Technologisch basieren sowohl map.apps als auch die SOS-Erweiterung auf JavaScript. Zur Anbindung von SOS-Servern wird die REST-API zur Kapselung der Geschäftslogik zur Interaktion mit SOS-Servern genutzt.

<sup>4</sup> <https://www.conterra.de/mapapps>

# Standardisierte Bereitstellung und Nutzung von wasserwirtschaftlichen Messdaten

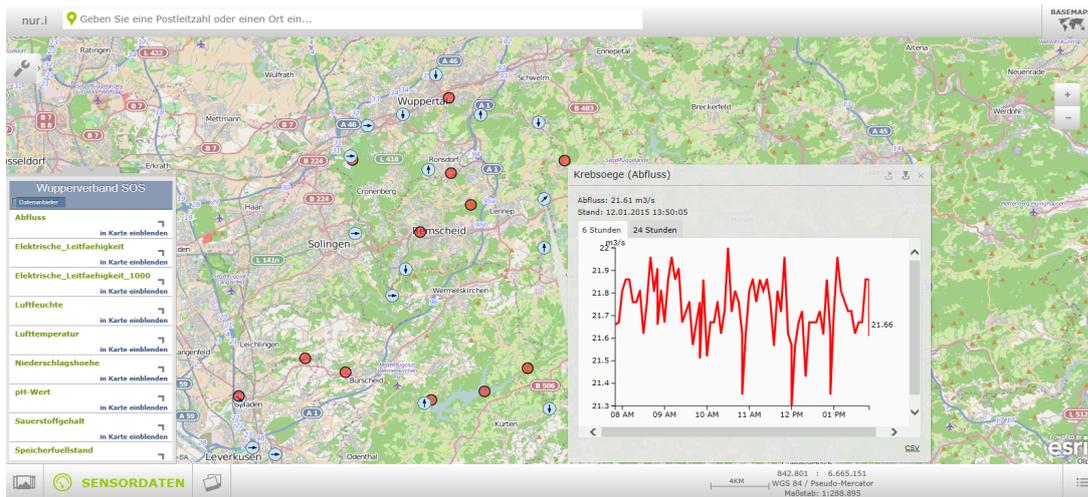


Abbildung 9: map.apps SOS-Erweiterung

## WISKI

Das wasserwirtschaftliche Informationssystem WISKI ist mit sogenannten SOS-Consumer Klassen ausgestattet, die es ermöglichen, Zeitreihendaten von SOS-Servern direkt zu laden und im System zu speichern. Hierdurch werden qualifizierte wasserwirtschaftliche statistische Analysen möglich, die durch die Applikation WISKI bereitgestellt werden (z. B. Hochwasser-/Niedrigwasseranalysen, Mehrjahreswerte, Extremwertstatistik). Zusätzlich können SOS-Daten auch zur Ableitung weiterer Zeitreihen verwendet werden.

WISKI unterstützt die Konfiguration beliebig vieler SOS-Endpunkte und bietet darüber hinaus die Möglichkeit der interaktiven Auswahl von Datenpunkten.

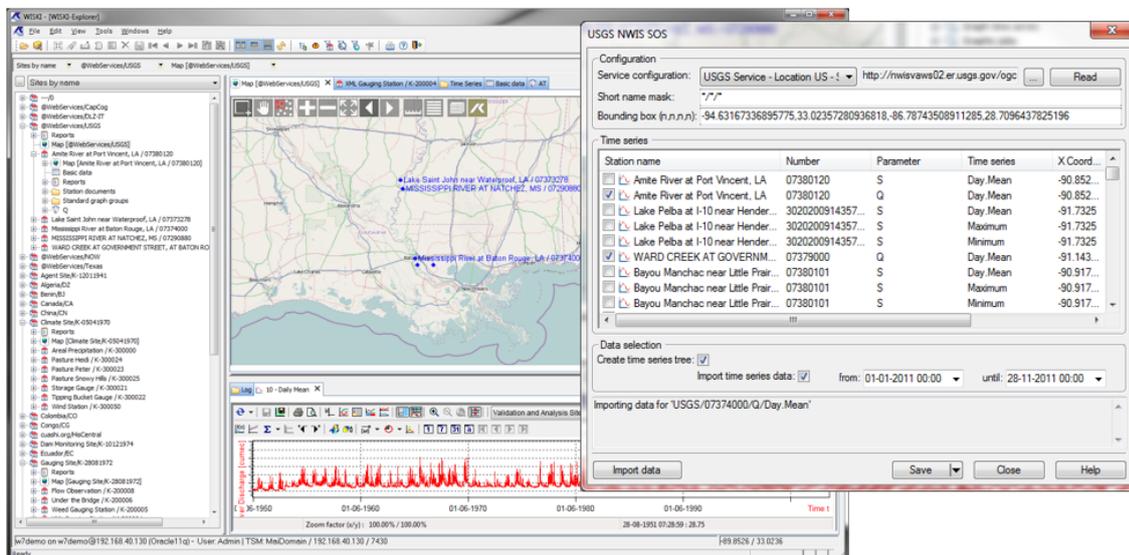


Abbildung 10: WISKI Desktop – SOS Consumer

## Esri ArcGIS GeoEvent Server

Auch für den Esri ArcGIS GeoEvent Server besteht eine erste, wenn auch prototypische Erweiterung um Daten von SOS-Servern zu konsumieren. Der Esri ArcGIS GeoEvent Server bietet primär die Funktionalität eingehende (Echtzeit-) Datenströme zu verarbeiten und die enthaltenen Daten (räumlich) zu analysieren. Beispielsweise können Ereignisse wie Grenzwertüberschreitungen oder räumliche Abhängigkeiten erkannt werden.

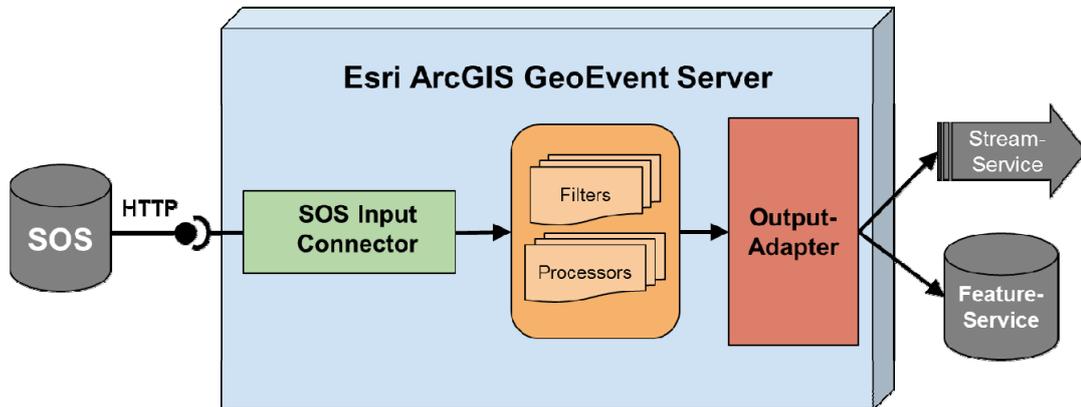


Abbildung 11: Esri ArcGIS GeoEvent Server-Workflow

Abbildung 11 zeigt den Workflow, welcher durch den Esri ArcGIS GeoEvent Server bereitgestellt wird. Über einen SOS Input Connector kann der GeoEvent Server regelmäßig einen SOS-Server auf neue Daten überprüfen. Werden neue Daten vorgefunden, so werden diese abgerufen, dekodiert und an einen Satz von Filtern und Prozessoren weitergegeben, welche entsprechend der Nutzeranforderungen konfiguriert sind (z. B. Erkennung der Überschreitung eines bestimmten Grenzwertes). Wird ein entsprechendes Ereignis erkannt, so können Output-Adapter genutzt werden um dieses Ereignis zur weiteren Nutzung weiterzugeben. Dies können entweder Datenströme zur Benachrichtigung (z. B. SMS, E-Mail) sein oder Feature-Layer (Feature-Services, Stream-Service), die von Visualisierungsapplikationen wie z. B. ArcGIS Online (vgl. Abbildung 12) verwendet werden können. Ebenso sind weitere räumliche Analysen, gerade in Kombination mit weiteren Geodatenquellen möglich, um im Falle eines bestimmten Ereignisses weitere Informationen zu generieren (z. B. Ermittlung welche Flächen von der Überschreitung eines Wasserstands-Grenzwertes betroffen sind).

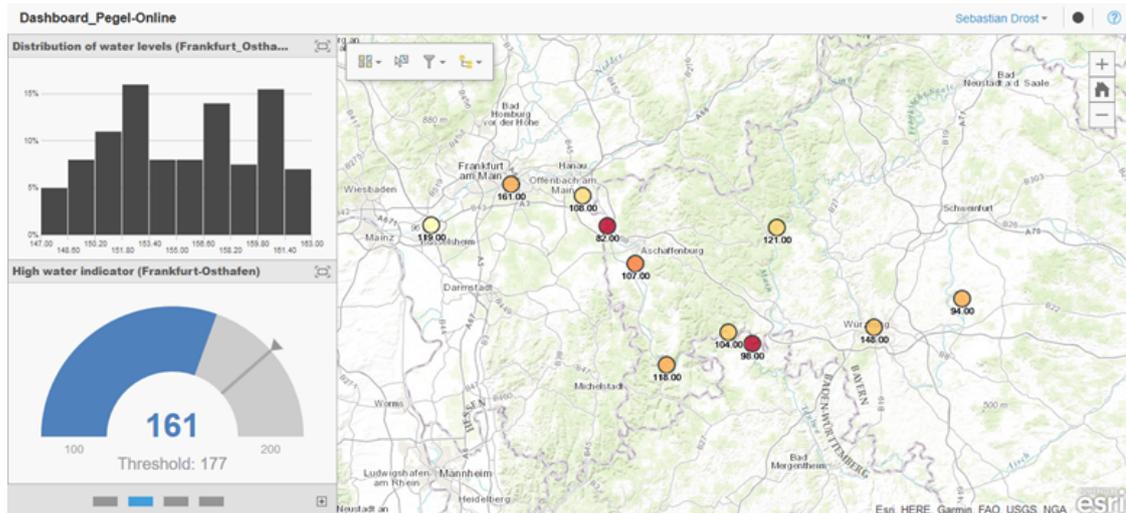


Abbildung 12: Visualisierung von Wasserständen entlang des Mains (aus PEGELONLINE) in ArcGIS Online

### QGIS GML Application Schema Toolbox

Voraussetzung für die Nutzung von SOS-Servern als Datenquelle in einem Desktop GIS ist die Konsumierbarkeit der auf diese Weise bereit gestellten Messdaten. Wie zuvor dargestellt, werden diese Daten in Form von XML-Dokumenten repräsentiert. Aufgrund der hierarchischen Struktur von XML kann jedes XML-Dokument als Ableitung aus einem umfangreicheren Objektmodell bzw. der zugehörigen Schemata verstanden werden. Ausgehend von der Grundidee diese Strukturiertheit und Schema-Konformität direkt für Zugriff auf und die Interaktion mit diesen Daten auszunutzen, wurde das QGIS Plugin „GML Application Schema Toolbox“<sup>5, 6</sup> entwickelt. Anstatt für bestimmte Inhalte vorprogrammiert zu sein (d. h. bestimmte vorgegebene Typen von XML-Dokumenten), sollen XML-Daten generisch und anpassbar auf Grundlage jedweden Schemas gelesen werden. Dies wurde u.a. schon erfolgreich für WaterML 2.0, GroundWaterML 2.0 sowie die INSPIRE PointTimeSeriesObservation umgesetzt und getestet.

Die QGIS GML Application Schema Toolbox bietet zwei Herangehensweisen mit unterschiedlicher Datendarstellung in QGIS. Zum einen können die Daten direkt in ihrer normalen, hierarchischen XML-Baumstruktur verwendet werden. Dabei wird jedes sogenannte „Complex Feature“ als eine Zeile eines Vektor-Layers gespeichert. Mit den üblichen QGIS Werkzeugen kann auf jeden Unterabschnitt der Baumstruktur zugegriffen werden, zudem können abhängige, externe Informationen über die „xlink:href“-Attribute abgerufen werden. Informationen aus Codelist-Registries oder zusätzliche, durch Referenzen verknüpfte Features, wie die „Observations“ von einer „Monitoring Facility“ wären Beispiele dafür.

Der andere Ansatz besteht darin, den Inhalt eines XML-Dokuments zunächst in ein relationales SQL-Modell zu überführen, welches in einer Datenbank wie PostgreSQL/PostGIS oder SpatiaLite gespeichert wird, so dass QGIS auf diese Daten zugreifen kann. Dazu werden die im XML angegebenen XSD-Schemata durch den OGR GMLAS Treiber<sup>7</sup> analysiert, um aus dem zugrunde liegenden Objektmodell alle Elementtypen und Attribute sowie die Verknüpfungen zwischen den Elementen abzuleiten. Letztere werden in Beziehungen zwischen den Datenbanktabellen der Elemente umgesetzt, die mit den entsprechenden Werten aus dem XML-Dokument gefüllt werden. In QGIS lassen sich 1:N-Beziehungen zwischen Vektorlayern deklarieren, die in der Formularansicht eines Layers das Navigieren in der Modellstruktur ermöglichen. Abschließend erzeugt das Plug-In automatisch ein QGIS-Projekt mit allen geladenen Layern und Beziehungen.

Der OGR GMLAS Treiber, welcher Bestandteil der weit verbreiteten Geospatial Data Abstraction Library (GDAL) ist und die beschriebene Konvertierung übernimmt, wird anhand einer XML-Datei<sup>8</sup> konfiguriert, deren Struktur und Inhalt im zugehörigen Schema gmlasconf.xsd dokumentiert sind. Dies eröffnet weitreichende Konfigurationsmöglichkeiten durch Anpassung dieser Dateien.

---

5 [https://github.com/BRGM/gml\\_application\\_schema\\_toolbox](https://github.com/BRGM/gml_application_schema_toolbox)

6 [https://planet.qgis.org/plugins/gml\\_application\\_schema\\_toolbox](https://planet.qgis.org/plugins/gml_application_schema_toolbox)

7 [http://www.gdal.org/drv\\_gmlas.html](http://www.gdal.org/drv_gmlas.html)

8 <https://svn.osgeo.org/gdal/trunk/gdal/data/gmlasconf.xml>

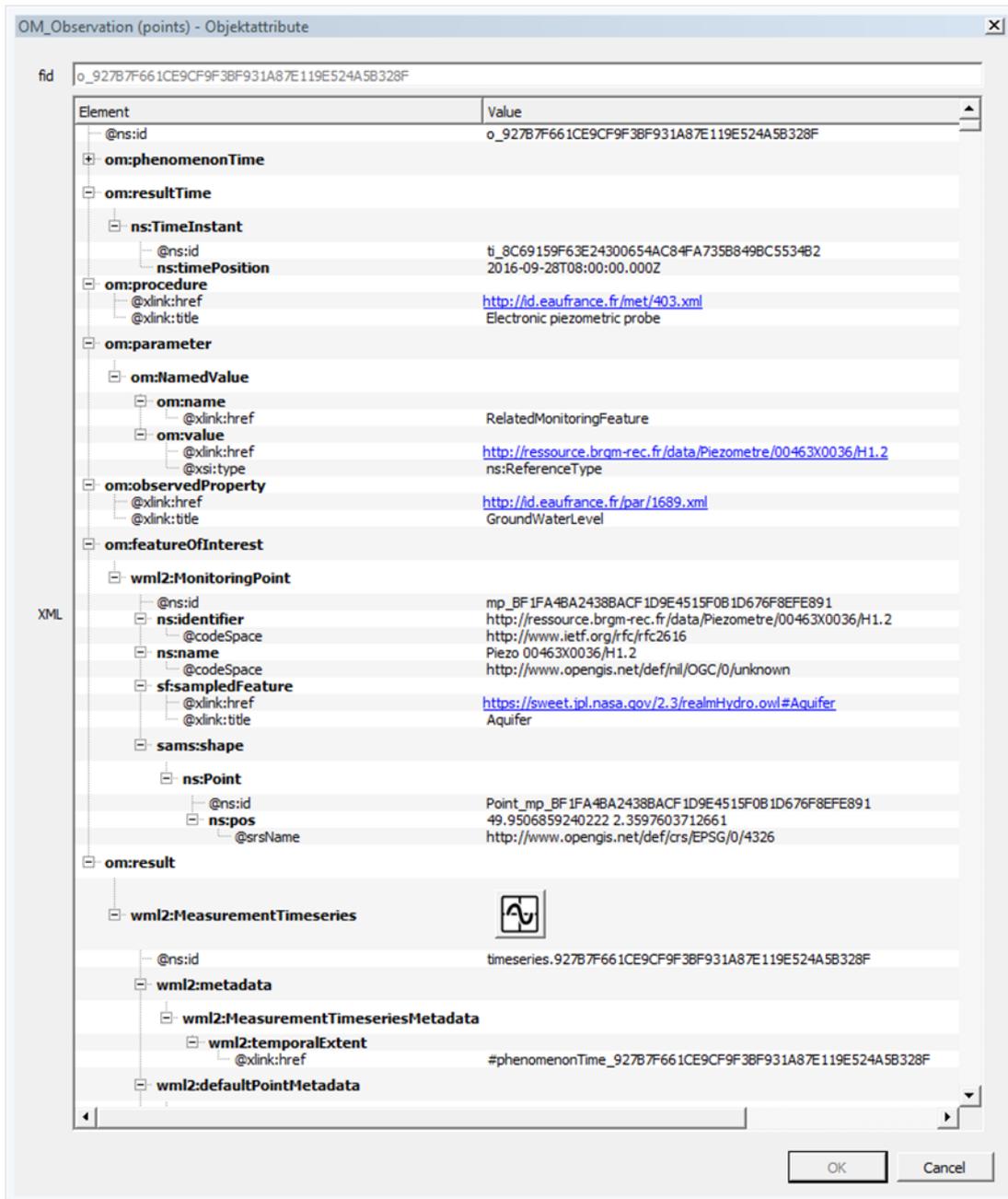


Abbildung 13: QGIS-Darstellung von WaterML 2.0-Inhalten als XML-Baumstruktur

Wichtig für die Nutzung von Zeitreihendaten ist natürlich eine Diagrammdarstellung, die jedoch normalerweise nicht Teil kartenbasierter GIS ist. Für diesen Zweck ist in der QGIS GML Application Schema Toolbox ein einfaches Betrachtungsmodul für Zeitreihen von Messwerten enthalten, die der Spezifikation in WaterML 2.0 Part 1 entsprechen. Bei Vorhandensein eines „wml2:MeasurementTimeseries“-Elementes wird im XML-Modus automatisch ein Knopf zum Aufruf des Viewers angezeigt. Die Idee hinter dem Viewer ist vor allem eine API anzubieten, die von Dritten zur Erstellung von Widgets für spezielle Elementtypen genutzt werden kann. Neben weiteren, fachspezifischen Benutzeroberflächen ist jedoch insbesondere auch ein SOS-Download-Client als weitere Entwicklung vorgesehen, ähnlich dem schon vorhandenen WFS 2-Client, um nicht nur (lokal vorhandene oder via URL erreichbare) Dateien, welche Sensordaten enthalten, konvertieren zu können.

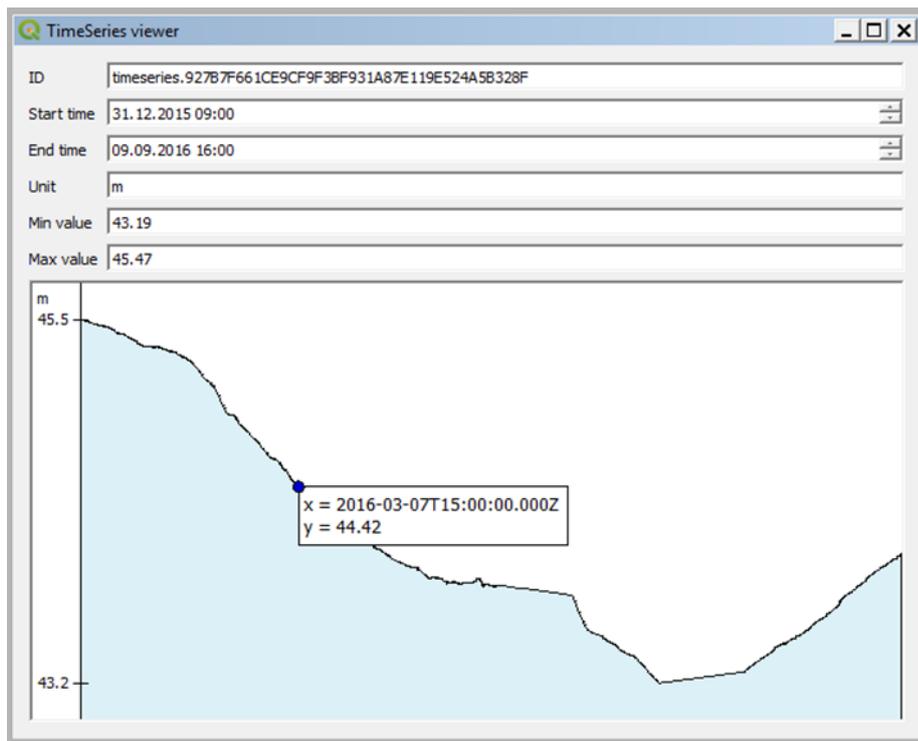


Abbildung 14: Zeitreihendarstellung in QGIS

Die hier beschriebene Software ist frei nutzbar, als Open Source-Software lizenziert und verfügt zudem über eine umfangreiche Dokumentation. Das Plug-In GML Application Schema Toolbox wurde durch BRGM (den französischen Geologischen Dienst) finanziert und durch Oslandia entwickelt. Der OGR GMLAS Treiber ist von Spatialys entwickelt worden.

### sos4R

Neben Desktop-GIS existieren weitere Analyse-Werkzeuge mit denen Sensordaten analysiert werden können. Beispielsweise ist hier die Statistik-Softwareumgebung R<sup>9</sup> zu nennen. Während in diesem Software-Segment die Anbindung an Geodateninfrastrukturen und insbesondere an das Sensor Web bislang nur eine untergeordnete Rolle spielt, ist für das Softwarepaket R eine vergleichsweise fortgeschrittene Open Source-Entwicklung, sos4R<sup>10</sup>, verfügbar, welche den Import von Daten eines SOS-Servers ermöglicht, so das hierauf statistische Analysen durchgeführt werden können.

### Weitere GIS-Anbindungen

Auch für weitere Desktop-GIS-Anwendungen existieren Bestrebungen, die Nutzung von SOS-Servern als Datenquelle zu ermöglichen. Somit haben GIS-Nutzer die Möglichkeit, ihre Geodaten mit Messdaten anzureichern und diese Messdaten ebenfalls in Analysen mit einzubeziehen.

Für die Desktop GIS ArcGIS Desktop, GRASS GIS sowie uDig laufen bzw. liefern bereits entsprechende Entwicklungen. Allerdings ist anzumerken, dass diese Entwicklungen bislang einen eher prototypischen Stand erreicht haben, der für eine reguläre, produktive Nutzung noch ausgebaut werden sollte.

<sup>9</sup> <http://www.r-project.org/>

<sup>10</sup> <http://cran.r-project.org/web/packages/sos4R/index.html>

### Technische Herausforderungen in der Umsetzung der Sensor Web-Technologie

Praktische Experimente mit der Sensor Web-Technologie zeigen, dass der OGC Sensor Observation Service-Standard geeignet ist lange Zeitreihen (z. B. 191 Jahre an Tagesmittelwerten, entsprechend ca. 70.000 Messwerten) in guter Geschwindigkeit auszuliefern. Auch die Darstellung großer Zeitreihen in Web-Clients ist gut möglich, wobei hier die im Browser zu verarbeitende Datenmenge zu beachten ist. Eine Anzeige von ca. 10.000 Werten stellt aber im Allgemeinen kein Problem dar. Mehr Details zu diesen Untersuchungen werden im Kapitel 5 der DWA-Sonderveröffentlichung beschrieben.

Die Anzahl der Betroffenen, die Messdaten aus der Hydrologie und Wasserwirtschaft bereitstellen möchten oder müssen ist relativ klein. Aufgrund der häufig individuell aufgebauten Systemarchitekturen der Datenbereiter, wird für den Aufbau von Sensor Web-Infrastrukturen oft nicht auf Standard-Software-Pakete zurückgegriffen sondern auf bestehende Software-Komponenten, die entsprechend der jeweiligen Anforderungen maßgeschneidert zusammengesetzt werden. Individuelle Implementierungen werden spätestens sicher dann notwendig, wenn die originäre Datenquelle eine Datenhaltung darstellt, die unabhängig von der zukünftig einzusetzenden Fachsoftware entstanden ist. In bestimmten Szenarien werden hier Softwareentwicklungen bzw. -anpassungen notwendig werden, die entweder mit den eigenen Kapazitäten im Hause oder mit Unterstützung externer Dienstleister zu realisieren sind. In beiden Fällen ist es hilfreich, die funktionalen und nicht-funktionalen Aspekte der zukünftigen Softwareanwendung festzuhalten und diese den Softwareentwicklern als erste Leistungsbeschreibung bereitzustellen. Als Lastenheft bildet es in unserem Anwendungsfall die Grundlage für die Erstellung eines spezifizierten Pflichtenhefts zur Umsetzung eines Sensor Web-Services, ggf. ergänzt durch einen Sensor Web-Client.

In dem Prozess der Erstellung eines Lastenheftes zur Umsetzung eines Sensor Web-Systems sind bereits diverse technische Weichenstellungen vorzunehmen. Um hier keine Fehlentwicklungen einzuleiten, ist ein gewisses Grundverständnis hinsichtlich der zum Einsatz kommenden Techniken notwendig.

In den folgenden Kapiteln der o.g. DWA-Sonderveröffentlichung werden die zugrundeliegenden Spezifikationen kurz vorgestellt und erläutert. Darauf aufbauend werden grundlegende Funktionen des OGC Sensor Observation Service (SOS), einer Web-Dienst-Schnittstellenspezifikation zum Zugriff auf Messdaten, dargestellt. Zusätzlich werden typische Anforderungen an SOS-Server beschrieben sowie verschiedene Umsetzungsstrategien zur Integration in eine vorhandene IT-Infrastruktur diskutiert. Ergänzend dazu erfolgt im Anschluss daran die Betrachtung von Anforderungen an SOS-Client-Anwendungen (z. B. Web-Applikationen, Geoinformationssysteme (GIS)) und verfügbarer Technologien zur Implementierung solcher Anwendungen. Weiterhin erfolgt eine kurze Erläuterung des Themas der Zugriffskontrolle auf SOS-Server. Anschließend werden verschiedene Anwendungsbeispiele sowie Beispiele für verfügbare Software-Pakete vorgestellt. Abschließend erfolgt eine kurze Betrachtung von Möglichkeiten und Grenzen der Sensor Web-Technologie im Hinblick auf Datenmenge und Performance. Zusätzlich werden im Anhang dieses Dokuments Vorschläge und Beispiele zu Textblöcken bereitgestellt, welche für die Formulierung von Ausschreibungen und Anforderungen für Sensor Web-Infrastrukturen genutzt werden können. Weiterhin umfasst der Anhang ausgewählte XML-Beispiele, welche die Kodierung von Zeitreihen in verschiedenen Sensor Web-Repräsentationen illustrieren.

Es folgt ein Auszug des Inhaltsverzeichnisses der weiteren, übergeordneten Kapitel der DWA-Sonderveröffentlichung:

- 2 Technologische Grundlagen
  - 2.1 OGC Sensor Observation Service
  - 2.2 OGC SOS 2.0 Hydrology Profile
  - 2.3 ISO/OGC Observations and Measurements
  - 2.4 OGC WaterML 2.0
  - 2.5 WaterML-WQ

- 2.6 OGC TimeseriesML
  - 2.7 OGC Sensor Model Language
  - 2.8 INSPIRE
  - 2.9 Zusätzliche Funktionen über den SOS-Standard hinaus
  - 3 Anforderungen an SOS-Implementierungen in der Hydrologie
    - 3.1 Anforderungen an Server-Implementierungen
    - 3.2 Anforderungen an Client-Implementierungen
    - 3.3 Nichtfunktionale Anforderungen
  - 4 Anwendungsbeispiele
    - 4.1 Beispielhafte Sensor Web-Umsetzungen
    - 4.2 Beispiele für Sensor Web Software
  - 5 Möglichkeiten und Grenzen der SOS- und WaterML2.0-Standards
    - 5.1 SOS-Antwortverhalten
    - 5.2 Performance beim Rendering von Zeitreihen im Client
- Anhang A Textbausteinvorschlage zur Verwendung in Ausschreibungen
- Anhang B Beispiele fur Sensor Web-Datenformate
- Anhang C Referenzen

## Literatur

- [1] Andres, Volker, Henning Bredel, Ralf Busskamp, Simon Jirka, Ulrich Looser, Manuela Schlummer, Adrian Strauch und Michael Utech (2014). Interoperability Between GRDC's Data Holding and the GEOSS Infrastructure. HIC 2014 – 11th International Conference on Hydroinformatics, New York City, NY, USA, CUNY Academic Works.
- [3] Botts, Mike und Alexandre Robin (2014). OGC Implementation Specification: Sensor Model Language (SensorML) 2.0.0 (12-000). Wayland, MA, USA, Open Geospatial Consortium Inc.
- [4] Braeckel, Aaron, Lorenzo Bigagli und Johannes Echterhoff (2016). OGC Implementation Standard: Publish/Subscribe Interface Standard 1.0 – Core (13-131r1). Wayland, MA, USA, Open Geospatial Consortium Inc.
- [5] Braeckel, Aaron und Lorenzo Bigagli (2016). OGC Implementation Standard: Publish/Subscribe Interface Standard 1.0 – SOAP Protocol Binding Extension (13-133r1). Wayland, MA, USA, Open Geospatial Consortium Inc.
- [7] Broring, Arne, Christoph Stasch und Johannes Echterhoff (2012). OGC Implementation Specification: Sensor Observation Service (SOS) 2.0 (12-006). Wayland, MA, USA, Open Geospatial Consortium Inc.
- [11] Cox, Simon (2011). OGC Implementation Specification: Observations and Measurements (O&M) – XML Implementation 2.0 (10-025r1). Wayland, MA, USA, Open Geospatial Consortium Inc.
- [17] INSPIRE MIG sub-group MIWP-7a (2016). Technical Guidance for implementing download services using the OGC Sensor Observation Service and ISO 19143 Filter Encoding – Version 1.0. Ispra, Italy, INSPIRE Maintenance and Implementation Group (MIG).
- [18] ISO TC 211 (2011). ISO 19156:2011 – Geographic information -- Observations and measurements – International Standard. Genf, Schweiz, International Organization for Standardization.
- [21] Simonis, Ingo und Johannes Echterhoff (2011). OGC Implementation Specification: Sensor Planning Service (SPS) 2.0.0 (09-000). Wayland, MA, USA, Open Geospatial Consortium Inc.
- [22] Taylor, Peter (2014). OGC Implementation Specification: WaterML 2.0.1: Part 1 – Timeseries (10-126r4). Wayland, MA, USA, Open Geospatial Consortium Inc.

### Autoren

Der Autorenkreis setzt sich aus den Mitgliedern der DWA-Arbeitsgruppe BIZ 12.2 GIS & GDI zusammen:

Dr. Ralf Busskamp  
Referatsleiter „Geoinformation & Fernerkundung, GRDC“  
Bundesanstalt für Gewässerkunde  
Am Mainzer Tor 1  
56068 Koblenz

Christoph Elvert  
Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AöR  
Geodaten, Vermessung und Liegenschaften  
Ostmerheimer Straße 555  
51109 Köln

Christian Förster  
Sachgebiet GIS und GDI  
Wupperverband – Körperschaft des öffentlichen Rechts  
Untere Lichtenplatzer Straße 100  
42289 Wuppertal

Dr. Simon Jirka  
52°North Initiative for Geospatial Open Source Software GmbH  
Martin-Luther-King-Weg 24  
48155 Münster

Wolfgang Kappler  
ahu AG  
Wasser Boden Geomatik  
Kirberichshofer Weg 6  
52066 Aachen

Dennis Prangenberg  
Esri Deutschland GmbH  
Niederlassung Köln  
Konrad-Adenauer-Ufer 41-45  
50668 Köln

Thomas Schüttenberg  
Technische Werke Burscheid AöR  
Geodatenmanagement  
Pastor-Löh-Straße 12  
51399 Burscheid

Christoph Stasch  
52°North Initiative for Geospatial Open Source Software GmbH  
Martin-Luther-King-Weg 24  
48155 Münster

Michael Utech  
KISTERS AG  
Pascalstraße 8+10  
52076 Aachen

Diese Veröffentlichung ist in ähnlicher Form bereits 2016 als Vorankündigung der DWA-Sonderveröffentlichung und Fachbeitrag in der Fachzeitschrift KW Korrespondenz Wasserwirtschaft 2016 (9) Nr.6 erschienen.



**Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA)**

Theodor-Heuss-Allee 17 · 53773 Hennef

Telefon: +49 2242 872-333 · Fax: +49 2242 872-135

info@dwa.de · www.dwa.de

