

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Online First

Herle, Stefan; Becker, Ralf; Blankenbach, Jörg,; Mulckau, Alexander; Lehfeldt, Rainer

EarlyDike: Sensor- & Geodateninfrastruktur für ein sensor- und risikobasiertes Frühwarnsystem für Seedeiche

Die Küste,90 (Online First)

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:
Kuratorium für Forschung im Küstingenieurwesen (KFKI) (Hg.)

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/108628>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Herle, Stefan; Becker, Ralf; Blankenbach, Jörg,; Mulckau, Alexander; Lehfeldt, Rainer (2021): EarlyDike: Sensor- & Geodateninfrastruktur für ein sensor- und risikobasiertes Frühwarnsystem für Seedeiche. In: Die Küste,90 (Online First). S. 161-202.
<https://doi.org/10.18171/1.090106>.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



EarlyDike: Sensor- und Geodateninfrastruktur für ein sensor- und risikobasiertes Frühwarnsystem für Seedeiche

Stefan Herlé¹, Ralf Becker¹, Jörg Blankenbach¹, Alexander Mulckau² und Rainer Lehfeldt³

¹ RWTH Aachen University, Geodätisches Institut und Lehrstuhl für Bauinformatik und Geoinformationssysteme, herle@gia.rwth-aachen.de

² Bundesamt für Seeschiffahrt und Hydrographie

³ Bundesanstalt für Wasserbau

Zusammenfassung

Eine echtzeitfähige Überwachung von Deichen als Basis eines Frühwarnsystems bedarf Daten unterschiedlicher Quellen. Neben den durch Sensoren vor Ort erfassten Daten sind dies ebenso von Dritten bereitgestellte Daten wie auch die Ergebnisse von Vorhersagesimulationen. Für ein webbasiertes Frühwarnsystem gilt es, alle Daten in einer geeigneten Sensor- und Geodateninfrastruktur (Englisch: Sensor and Spatial Data Infrastructure, SSDI) möglichst aktuell und zu mindestens partiell in Echtzeit zusammenzuführen und in einem geeigneten webbasierten Geoportal den Nutzern zur Verfügung zu stellen.

In diesem Beitrag wird die Realisierung einer solchen SSDI mit dem notwenigen hohen Maß an Skalierbarkeit und Interoperabilität im Rahmen des Projektes „Early Dike“ (Becker et al. 2018) beschrieben. Für die Gewährleistung von Interoperabilität beim Datenaustausch werden Standards wie die Geodatenstandards des Open Geospatial Consortium (OGC) verwendet. Die Skalierbarkeit und Echtzeitfähigkeit, z. B. bei der Übermittlung der Sensordaten, kann durch Verwendung neuartiger push-basierter Protokolle des Internet of Things (IoT) gewährleistet werden; mit der Eigenentwicklung GeoMQTT ist dabei auch eine zeitliche und/oder räumliche Filterung möglich.

Anhand des Projektes „EarlyDike“ zeigt der Beitrag das Zusammenspiel aller Komponenten einer Online-Geomonitoring- und Simulationsanwendung, von der Erfassung durch neue Sensoren in Sensornetzwerken bzw. Datengenerierung in verschiedenen Simulationen über die Echtzeitkommunikation mit neuen Benachrichtigungsmechanismen bis zur Speicherung der Sensordaten in einer entsprechenden serviceorientierten Architektur und der browserbasierten Datenvisualisierung und -bereitstellung in Echtzeit. Mit dem Erfassen von projektbezogenen Metadaten und dem Erstellen eines Präsentationsgeoportals erfolgt zudem die Einbindung in die deutsche marine Geodateninfrastruktur (MDI-DE) sowie in nationale (GDI-DE) und internationale (INSPIRE) Geodateninfrastrukturen.

Schlagwörter

Sensor- und Geodateninfrastruktur, Geosensornetzwerke, SSDI, GeoMQTT, Sensor Observation Service, GeoPortal, Marine Dateninfrastruktur Deutschland (MDI-DE), Metadaten, Geodateninfrastruktur Deutschland (GDI-DE), INSPIRE

Summary

Online monitoring systems for sea dikes have various requirements to data, simulations and communications. Sensors, which are deployed in the dike body and measure the inner state, and simulators, which forecast the outer influential factors such as wind or waves, must be coupled in a real-time-ready architecture. Additionally, third party data which are accessible by standardized protocols must be integrated as well. Therefore, an event-driven Sensor and Spatial Data Infrastructure (SSDI) is implemented in the 'EarlyDike' project to realize a real-time monitoring system. Furthermore, a web-based geoportal is implemented to enable user-access to the observed and simulated data.

This contribution describes the realization of such a SSDI as part of the 'EarlyDike' project, complying with the necessary requirements of high scalability and interoperability. The interoperability is ensured by geodata standards of the Open Geospatial Consortium (OGC). Especially, the standards of the sensor web are used to access historical sensor data by means of the WWW. The scalability and real-time capability are realized by innovative push-based protocols of the Internet of Things (IoT). The protocol 'GeoMQTT' was developed to extend the MQTT protocol by spatiotemporal filtering capabilities.

The 'EarlyDike' project shows the interaction of real-time data measurements by sensor networks, real-time dissemination utilizing suitable protocols, the storage and provisioning of sensor data in a service-oriented architecture (SOA) and the browser-based visualization in a geoportal. By acquiring project-related metadata and creating a presentation geo-portal, the integration into the German marine spatial data infrastructure (MDI-DE) and the national (GDI-DE) and international (INSPIRE) spatial data infrastructures is realized.

Keywords

Sensor and Spatial Data Infrastructure (SSDI), Geo-Sensor Networks, GeoMQTT, Sensor Web, WebGIS, Marine Data Infrastructure Germany (MDI-DE), metadata, German Spatial Data Infrastructure (GDI-DE), INSPIRE

1 Einleitung

Die Realisierung eines sensor- und risikobasierten Frühwarnsystems basiert auf unterschiedlichen Informationsquellen, die innerhalb des Systems zusammengeführt werden müssen. Der Datenraum reicht dabei von in situ erfassten Sensordaten über Basisdaten aus externen Quellen bis hin zu Daten aus Vorhersagesimulationen, so dass sich die Daten sowohl hinsichtlich der Aktualisierungsraten (z. B. hochfrequente Sensordaten vs. quasistatische Basisdaten) als auch ihrer Struktur (z. B. skalar, vektoriell oder rasterförmig), Formate (Bildformate, Textdateien etc.) sowie der zu verarbeitenden Datenmengen stark unterscheiden. Diese Heterogenität erfordert den Aufbau einer speziellen Dateninfrastruktur für die Erfassung, Integration und Präsentation aller Daten, die zudem erweiterbar in Hinblick auf weitere Datenquellen sein sollte.

Dateninfrastrukturen werden derzeit insbesondere zur Verbesserung der Verfügbarkeit und des Austauschs von Geodaten (Geodateninfrastrukturen, GDI) weltweit aufgebaut (Groot 2003, Bocher und Neteler 2012, Harvey et al. 2012, GSdi 2012, Onsrud und Kuhn 2016). In Europa folgen sie der INSPIRE-Richtlinie (INSPIRE 2007) zur „Schaffung der Geodateninfrastruktur in der Europäischen Gemeinschaft für die Zwecke der gemeinschaftlichen Umweltpolitik sowie anderer politischer Maßnahmen oder sonstiger

Tätigkeiten, die Auswirkungen auf die Umwelt haben können“. Die in INSPIRE und ihren Spezifikationen definierten Datenstrukturen nutzen OGC-Standards (OGC 2018) wie Web Service-Schnittstellen (z. B. Web Map Service (WMS), Web Feature Service, (WFS)) (Benedict 2005) oder Datenbeschreibungsformate (z. B. GML, O&M, WaterML). GDIs werden derzeit in den EU-Mitgliedsstaaten zu unterschiedlichen Themen aufgebaut (Craglia und Annoni 2006). Zum aktuellen Stand der Geodateninfrastruktur in Deutschland (GDI-DE) berichtet das Lenkungsgremium GDI-DE im Auftrag des Bundesministerrums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMU 2016). Bezuglich Wasser- und Küstenschutz förderte das BMBF den Aufbau der MDI-DE (Rüh und Bill 2012, Lehfeldt und Melles 2011) durch die Fusion von NOKIS (Nokis 2018) und GDI-BSH (GDI-BSH 2018) (MDI-DE: PT Jülich 03KIS089 (2010–2013); NOKIS: PT Jülich 03KIS49 (2004–2008)). Die MDI-DE (Lehfeldt und Melles 2014) integriert Daten aus dem Küstingenieurwesen, dem Küstengewässerschutz, dem Meeresumweltschutz und den Meeresnaturschutz von Bundes- und Landesbehörden.

Erweitert man – wie es für das vorliegende Frühwarnsystem der Fall ist – die GDI um ein Sensornetzwerk zur räumlich verteilten Erfassung eigener Daten, so wird aus der GDI eine Sensor- und Geodateninfrastruktur (SSDI). Die mitunter große räumliche Ausdehnung erfordert eine drahtlose Variante des Sensornetzwerkes. Drahtlose Sensornetzwerke haben sich in den letzten Jahren rapide entwickelt. Moderne Sensorknoten werden mit multiplen Sensoren für unterschiedlichste Umweltindikatoren (z. B. Lufttemperatur, Luftverschmutzung, Wasserqualität) ausgerüstet. Die Weiterentwicklungen führen zum Einsatz von georeferenzierten, vernetzten Sensorknoten als Geosensornetzwerk in verschiedenen Domänen z. B. im Katastrophenmanagement, dem Umweltmonitoring, in der öffentlichen Sicherheit und im kommunalen Überflutungsschutz (Iyengar und Brooks 2012, Akyildiz und Vuran 2010, Pengel et al. 2013). Zur Verbesserung der Sensorintegration und zur Sicherstellung der Interoperabilität hat das OGC die Sensor Web Enablement (SWE)-Initiative (Grothe und Kooijman 2008) initiiert. SWE wurde bereits vereinzelt in Forschungsprojekten z.B. OSIRIS (Monitoring von Luftverschmutzung) (Jirka et al. 2009), SLEWS (Frühwarnung vor Hangrutschungen) (Walter und Nash 2009) oder FlugGGS (FlussGebietsGeoinformationsSystem) (Spies und Heier 2010) berücksichtigt.

SSDIs sind somit eine Weiterentwicklung von traditionellen Geodateninfrastrukturen, die als serviceorientierte Architekturen (SOA) umgesetzt werden und sich dabei des Request/Response-Nachrichtenaustauschmusters bedienen. Dabei fragen Clients eine gewisse Ressource an (Request) und der Server beantwortet diese Anfrage synchron mit den angefragten Informationen oder einer Fehlermeldung. In modernen Anwendungen und erweiterten verteilten Systemen erweist sich dieses Muster allerdings als problematisch, da die Echtzeitfähigkeit nahezu unmöglich ist. Um dies umzusetzen, müssen andere Kommunikationsmuster eingesetzt werden. Ein Beispiel ist das Publish/Subscribe Muster, das erlaubt, die Benachrichtigung von Clients asynchron durchzuführen. Hierbei können sich Clients auf bestimmte Ereignisse abonnieren, sodass sie benachrichtigt werden, wenn diese eintreten.

Um die Echtzeitfähigkeit des Deich-Frühwarnsystems in EarlyDike (Becker et al. 2018) zu gewährleisten, wurde die Datenintegration innerhalb der SSDI konsequent auf dem Publish/Subscribe-Muster aufgebaut. Die Architektur der SSDI besteht aus mehreren Schichten (Abbildung 1). In der Sensorschicht (Sensor Layer) werden Daten an über den Deich verteilten Sensoren räumlich-zeitlich erfasst und über drahtlose Geosensornetzwerke in die

Datenbasis überführt. In der Integrationsschicht (Integration Layer) werden bereits existierende räumlich-zeitliche Daten mit den eigenerfassten Messungen fusioniert und schließlich in einem Deich-Geoportal präsentiert (Präsentationsschicht/Presentation Layer).

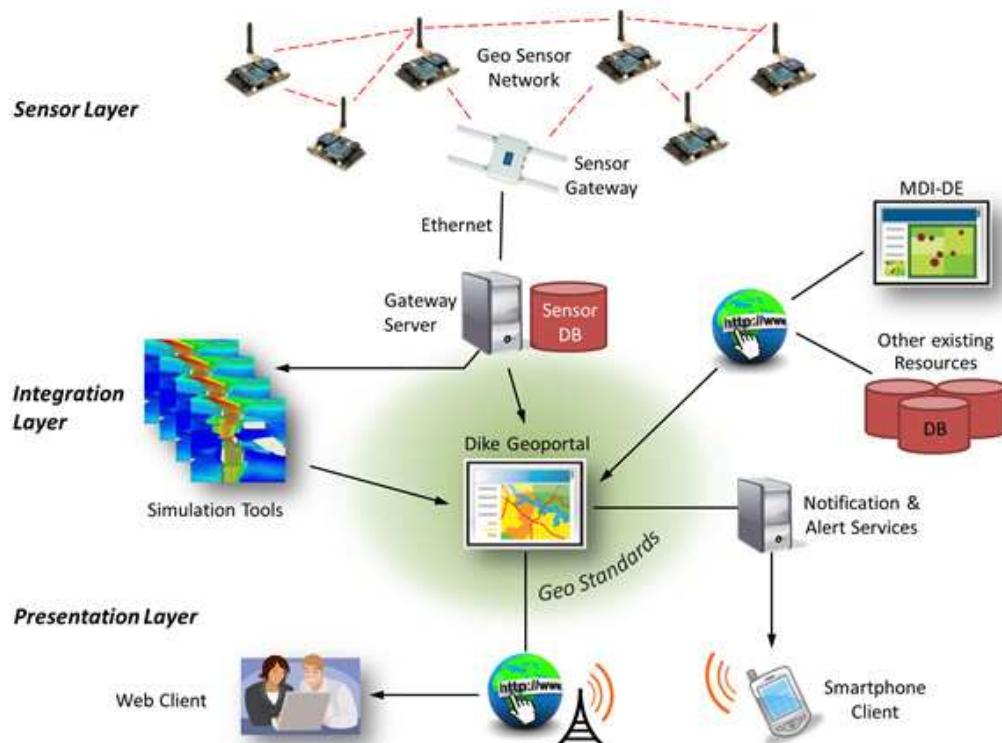


Abbildung 1: Sensor- und räumliche Dateninfrastruktur für das Deich-Monitoring.

2 Sensorschicht

2.1 Anforderungen an das Geosensornetzwerk

Da die für die Simulationen und das Monitoring erforderlichen Daten möglichst aus existierenden und nutzbaren (Online-)Datenbeständen bezogen werden, werden mit Hilfe des Geosensornetzwerks nur diejenigen relevanten Parameter erfasst, die entweder nicht anderweitig bezogen werden können oder spezielle, projektspezifische Anforderungen (z. B. hinsichtlich räumlicher und zeitlicher Auflösung) aufweisen. Dies sind – auch aus Beschränkung des Aufwandes einer flächendeckenden Erfassung – Messgrößen bezüglich der örtlichen Verhältnisse für den Zustand des Deiches, wie sie das vorgesehene Verfahren zur Detektion von Veränderungen im Inneren des Deiches mittels textiler Sensoren (Schwab et al. 2018) erfordern.

Zur Umsetzung von Sensornetzwerken existieren grundsätzlich verschiedene Möglichkeiten sowohl hinsichtlich der verwendeten Hard- wie auch der Software. Bei der Hardware spielt die räumliche Ausdehnung eines solchen Netzwerkes eine entscheidende Rolle, d. h. insbesondere, ob eine kabelgebundene Lösung möglich ist oder auf kabellose Technologien zurückgegriffen werden muss. Im vorliegenden Projekt werden Deiche überwacht, die entlang der Küstenlinie eine große räumliche Ausdehnung besitzen. Aufgrund der damit verbundenen Raumbezogenheit wird das Sensornetzwerk zu einem Geosensornetzwerk. Eine kabelgebundene Lösung kann dabei nur schwer umgesetzt werden. Somit ist es notwendig,

ein kabelloses (Wireless) Geosensornetzwerk (WGSN) einzusetzen, um eine flächen-deckende Überwachung zu gewährleisten.

Diese Anforderung beschränkt die Sensorknoten in einem solchen Geosensornetzwerk in verschiedenerlei Hinsicht. Da die Sensorknoten autonom agieren müssen, insbesondere keine stetige Stromversorgung besitzen und somit auf andere Stromquellen zurückgegriffen werden muss, darf die zugrundeliegende Plattform nur einen geringen Stromverbrauch aufweisen. Des Weiteren sind die Kosten für einen Sensorknoten ein wichtiger Faktor, da durch die große räumliche Ausdehnung von Deichen eine Vielzahl von Sensorknoten für eine vollständige Abdeckung notwendig ist. Insgesamt muss die Basisplattform, mit der die unterschiedlichen Sensoren, insbesondere das Geotextil, verbunden werden sollen, eine wenig Energie verbrauchende (low-power) und kabellose Lösung sein. Als Sensorplattform für die Messungen am Deich mittels eines Geosensornetzwerks wurde die Internet-of-Things (IoT)-Plattform „Wspmote Plug and Sense“ vom spanischen Unternehmen Libelium (Libelium 2018) gewählt. Die Basiskomponente ist der sogenannte Wspmote, ein Sensorknoten basierend auf der open source Hardware-Plattform Arduino (Arduino 2018). Das Board des Sensorknotens besteht aus einem Mikrocontroller sowie analogen und digitalen Ein- und Ausgängen. Im Vergleich zum Arduino besitzt der Wspmote noch einige weitere Hardwarekomponenten wie bspw. eine Echtzeituhr (Real-Time Clock, RTC). Durch die Nähe zur Arduino-Plattform können Arduino-Bibliotheken, die bspw. im WWW zu finden sind, mit kleinen Anpassungen auch auf der Wspmote-Plattform betrieben werden. Dies stellt einen großen Vorteil dar, da so auf Bibliotheken Dritter zurückgegriffen werden kann.

Libelium verbaut diese Basiskomponente in spezielle Sensorknoten, die in verschiedenen Ausführungen mit unterschiedlichen Sensoren ausgestattet sind. Der im Projekt verwendete Sensorknotentyp trägt den Namen „Wspmote Plug and Sense“, da es im Plug and Play (PnP) Modus betrieben werden kann. Diese speziellen Ausführungen der Sensorknoten sind für verschiedenste Aufgabenstellungen gedacht. Insgesamt existieren 11 verschiedene Modelle, die mit mehr als 150 Sensoren bestückt werden können. Für die Deichüberwachungen wurden die Modelle „Wspmote Plug and Sense - Smart Agriculture“ und „Smart Ambient“ gewählt, die eine Integration der gerade für den Zweck des Projektes benötigten Sensoren bieten. Die Sensoren, die beim EarlyDike Projekt von Interesse sind, sind die Folgenden:

- Lufttemperatur- und Luftfeuchtesensoren
- Luftdrucksensor
- Bodentemperatursensor in verschiedenen Tiefen
- Bodenfeuchtesensor in verschiedenen Tiefen
- Anschlussmöglichkeit für eine Wetterstation, die Windrichtungs-, Windgeschwindigkeits- und Niederschlagsmessung vornimmt

Die Sensorknoten bieten neben dem einfachen Anschluss und Betrieb der Sensoren einige Vorteile, welche die Installation im Gelände erlauben. So ist die Hardware in einem robusten, wasserfesten IP65-Gehäuse eingebaut, sodass bei starken Wettereinflüssen am Deich immer noch zuverlässig Daten erfasst und versendet werden können. Des Weiteren kann ein Solarpaneel zur autarken Stromversorgung angeschlossen werden.

Die Sensorknoten sind in der Lage, sich autonom zu vernetzen (Stern-, Baum- und Mesh-Topologie) und bilden im Verbund ein kabelloses Geosensornetzwerk, welches an

unterschiedlichen Stellen am Deich Umweltdaten erfassen kann. Die Daten werden direkt oder über das Sensorknotennetzwerk an eine Basisstation übermittelt. Das Unternehmen Libelium stellt dazu ein sogenanntes „Gateway“ bereit, das den Namen „Meshlium“ trägt. Diese Hardwarekomponente empfängt die Daten von den Sensorknoten und verarbeitet sie weiter, d. h. die Daten werden entweder in einer lokalen Datenbank (MySQL) gespeichert oder über das Internet weitergeleitet. Das Meshlium ist mit verschiedenen Konnektoren wie Ethernet, WLAN oder Mobilfunk (3G/GPRS) ausgestattet. Gerade Letzteres ist gut geeignet, um das Geosensor Netzwerk auch in ortslagenfernen Regionen, wie an Küstenabschnitten, betreiben zu können. Da auch das Meshlium eine open source-Hardwarelösung ist, kann dieses frei konfiguriert und programmiert werden. Auch das Meshlium ist mit einem robusten Gehäuse ausgestattet, um es im Freien betreiben zu können.

Die Kommunikation zwischen den Sensorknoten und dem Gateway erfolgt über die Protokolle ZigBee und IEEE 802.15.4. ZigBee ist ein Framework für drahtlose Funknetzwerke und erweitert den IEEE 802.15.4-Standard um eine Vermittlungs- und Anwendungsschicht. Laut Herstellerangaben ist (bei freier Sichtverbindung) eine maximale Entfernung von 7 km zum nächsten Knoten möglich. So kann mit den Sensorknoten und dem Gateway ein ZigBee Wireless Personal Area Network (WPAN) aufgebaut werden. Teilnehmer in einem solchen WPAN können als Endgerät, Router oder Koordinator konfiguriert werden. Das Gateway übernimmt hierbei die Rolle des Koordinators, da es das Netzwerk mit festgelegten Parametern initialisieren muss. Die Sensorknoten selbst sind als Router konfiguriert, da diese ggf. ZigBee-Nachrichten an andere Teilnehmer weiterleiten können.

Auf diese Kommunikationsprotokolle setzt der Hersteller Libelium ein proprietäres Format zur Kapselung der Daten auf, den sogenannten WaspFrame. Je nach Konfiguration der Sensorknoten, d. h. Abtastrate der Sensoren etc., werden WaspFrames von den Sensorknoten an das Gateway versendet. Das proprietäre Protokoll hat den Nachteil, dass die Nutzer an die Plattform des Herstellers gebunden sind und keine andere/weitere Hardware hinzugefügt werden kann. Da die Plattform jedoch quelloffen (open source) mit vollem Zugriff auf Software und Hardware ist, können sowohl die Sensorknoten als auch das Gateway erweitert werden, sodass bspw. offene Standards verwendet werden können, um auch alternative Hardware zu unterstützen (siehe Abschnitt 3.1).

2.2 Anbindung des Geotextils an den Sensorknoten

Für das Feuchtigkeits- bzw. Deformationsmonitoring innerhalb des Deichbauwerks hat das Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen (ITA) ein spezielles Geotextil entwickelt (Abbildung 2), dessen Zustandsdaten mittels der Sensorknoten ausgelesen werden, um die Daten in die SSDI einzuspeisen (Krebs und Schüttrumpf 2018). Dieser Sensor „Geotextil“ wird im Projekt an den Sensorknoten angebunden, ausgelesen und die gemessenen Werte werden ins Internet weitergeleitet. Da nur die Zustandsänderung (Feuchtigkeit, Dehnung) gegenüber der vorherigen Messung von Interesse ist, ist eine relative Messung ausreichend. Dazu wird auf Seiten der Sensorknoten die Veränderung der elektrischen Spannung bzw. des elektrischen Widerstandswertes gegenüber einer aufgebrachten Referenzspannung bzw. eines Referenzwiderstandes gemessen, was gegenüber der absoluten Spannungs- bzw. Widerstandsmessung mit einem geringeren technischen Aufwand verbunden ist.



Abbildung 2: Prototyp des Messvlieses im kleinmaßstäblichen Deichmodell (Foto: Krebs 2015).

Die Erfassung mit Hilfe der Sensorknoten kann grundsätzlich entweder durch Verwendung handelsüblicher Labormesstechnik, wie sie ebenfalls vom Projektpartner ITA für die Labormessversuche mit den Geotextilien verwendet wird, oder durch den Aufbau eines eigenen miniaturisierten Messmoduls erfolgen. Die erstgenannte Variante besticht vor allem durch den Vorteil einer professionellen und bereits voll funktionstüchtigen, erprobten, präzisen und hochauflösten Datenerfassung. Dem steht jedoch eine Reihe von Nachteilen gegenüber:

- Labormesstechnik ist nicht für den Einsatz im Feld ausgelegt und häufig nicht autonom einsetzbar. Es wäre daher nicht erforderlich, die wenig kompakte Labormessanordnung am Deich robust gegen Umwelteinflüsse aufzubauen, sondern auch mit der erforderlichen Infrastruktur, insbesondere Energieversorgung, zu versehen.
- Für die Anbindung an das Geosensornetzwerk wären zum Teil aufwendige Hard- und Softwareschnittstellen notwendig.
- Die Kosten sind mit zum Teil mehreren tausend Euro für nur ein Modul und damit für einen zu bestückenden Sensorknoten vergleichsweise hoch.

Aufgrund dessen wurde ein separates, miniaturisiertes Messmodul entwickelt, mit dem das Geotextil direkt durch den Wasp mote ausgelesen werden kann. Der Betrieb am Sensor-knoten (Wasp mote) bietet dabei erhebliche Vorteile, da keine Synchronisierung und zusätzliche Stromversorgung notwendig sind. Gleichzeitig ist die Realisierung extrem kostengünstig.

Das Messmodul besteht im Kern aus einem Analog-Digital (AD)-Wandler (ADS1115), mit dessen Hilfe die relative Spannung der Sensoren erfasst wird. Der Arduino ADS1115 ist ein 16 Bit Analog Digital Wandler von Texas Instruments (Abbildung 3). Er besitzt vier Einzel-Analogeingänge mit 16 Bit Auflösung oder zwei differentielle Eingänge. Je nach gewähltem Messbereich variiert die Spannungsauflösung.

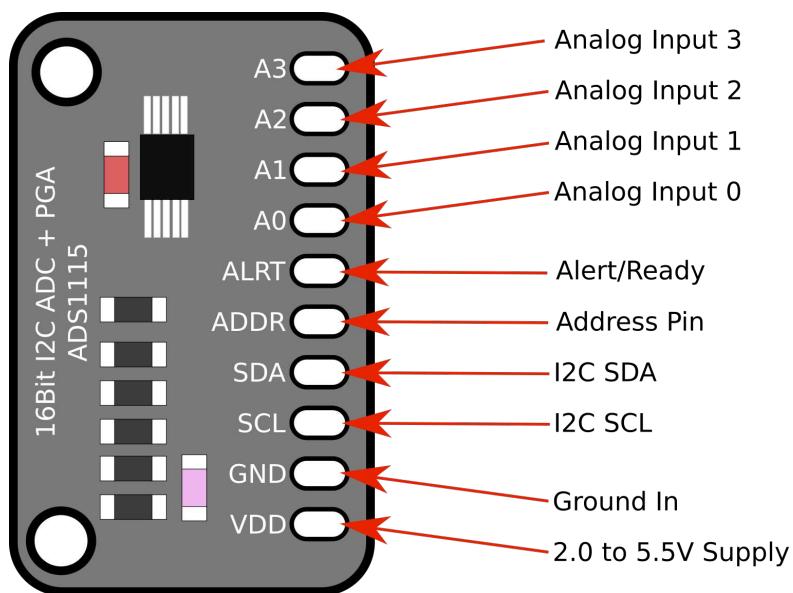


Abbildung 3: Arduino ADS1115 Modul (angelehnt an Henry's Bench o. J.).

Durch das I2C Interface können die Eingänge mit vier verschiedenen Adressen ausgelesen werden. Es lassen sich vier dieser Wandler an einem Waspmote betreiben, sodass insgesamt 16 Kanäle ausgelesen werden können. Da ein Sensor am Geotextil aus einem Paar besteht, können auf diese Weise acht Sensorgarne angeschlossen werden. Abbildung 4 zeigt die entwickelte Wandlerbox am Waspmote.

Die Vorteile dieser Lösung bestehen insbesondere darin, dass kein zusätzliches Mikrokontroller-Board erforderlich ist und das Geotextil als weiterer Sensor am Waspmote angeschlossen werden kann. Da auf existierende Arduino-Bibliotheken durch kleinere Anpassungen zurückgegriffen werden kann, ist der Programmieraufwand überschaubar. Die Kosten eines Arduino ADS1115 liegen dabei lediglich bei ca. 5 Euro.

Nachdem das intelligente Geotextil in den Modeldeich eingebracht wurde, konnte das umgesetzte Messsystem angeschlossen und bei den folgenden Versuchskampagnen die Funktionalität überprüft werden. Eine parallel laufende Messung mittels Labormesstechnik bestätigte die Validität der Messungen. Diese konnten anschließend ausgewertet und analysiert werden (vgl. Krebs und Schüttrumpf 2018).



Abbildung 4: Waspmote mit angeschlossener A/D-Wandler Box.

3 Integrationsschicht - Datenfusion

In der Integrationsschicht werden alle Daten und Prozesse fusioniert. Dazu wird eine entsprechende Softwarezwischenschicht (Middleware) eingesetzt, um eine Kommunikation zwischen den Komponenten zu ermöglichen (Abbildung 5).

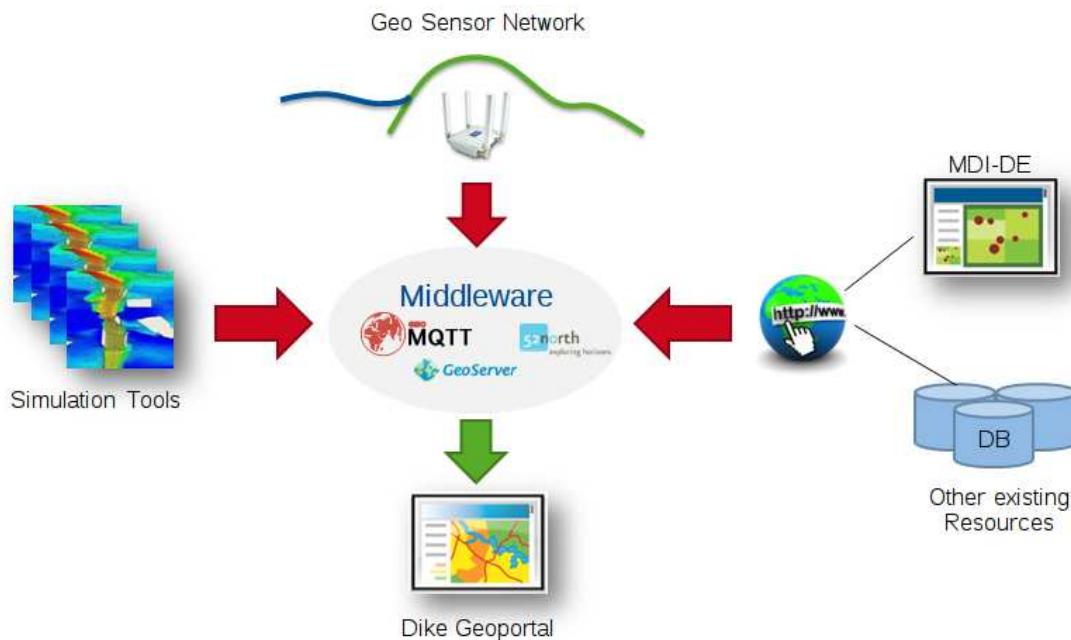


Abbildung 5: Datenfusion in einer Zwischenschicht.

Die selbsterfassten Daten des Geosensornetzwerks (z. B. Geotextil, Bodentemperatur- und -feuchte) werden in Echtzeit ins Internet weitergeleitet und nach dem Konzept des Sensor Webs (vgl. Abschnitt 3.2) für den Abruf bereitgestellt. Sie werden daher mittels geeigneter Methodik (Hard- und Software) in das Sensor Web überführt. Für die externen Daten (Daten Dritter) sind je nach Art der Datenbereitstellung und der Art der Verwendung im Projekt mögliche und geeignete Methoden zum Datenzugriff bzw. Download ermittelt und festgelegt worden. Die von den Projektpartnern entwickelten Simulatoren und deren Ergebnisse sind ebenfalls über die Integrationsschicht eingebunden. Die Geodaten werden in Echtzeit zwischen den verschiedenen Komponenten verschickt, sodass zunächst geeignete Mechanismen erforscht werden mussten.

3.1 Mechanismus zum Austausch von Geodaten in Echtzeit

Die verbauten Sensoren im Deich, aber auch die verschiedenen Simulatoren, erzeugen raumzeitliche Ereignisse, d. h. Geodaten mit zeitlicher Dimension. Ein solches sogenanntes GeoEvent besteht neben den eigentlichen Nutzdaten, dem Payload, aus den folgenden Meta-Komponenten:

1. Phänomen von Interesse (Eventname)
2. Räumlicher Bezug (Koordinate/Geometrie)
3. Zeitpunkt/Zeitspanne

Diese GeoEvents werden in der EarlyDike-Architektur in Echtzeit an interessierte verteilte Architekturkomponenten übermittelt. Unter anderem nehmen die datenhaltenden Dienste

des Sensor Webs die GeoEvents der Sensoren auf, speichern diese ab und stellen sie durch standardisierte Dienste bereit.

Um diesen Echtzeitmechanismus zu gewährleisten, wird im Projekt EarlyDike das Prinzip der GeoPipes benutzt. Dieses stellt eine push-basierte Kommunikation zwischen Produzenten und Konsumenten von GeoEvents dar. Konsumenten spezifizieren ihr Interesse an einer GeoPipe bei einer zentralen Event-Verteilerstelle, sodass an der Verteilerstelle ein-treffende GeoEvents unmittelbar an diese weitergeleitet werden, ohne dass sie wiederholte Anfragen durchführen müssen. Wie bereits in Abschnitt 2.1 erwähnt, wird dieser GeoPipe-Mechanismus durch eine Erweiterung des leichtgewichtigen MQTT-Protokolls realisiert, um dessen Vorteile für ressourcenbeschränkte Hardware zu nutzen. Das GeoMQTT Protokoll wurde im Rahmen des Projektes EarlyDike entwickelt und soll im Folgenden vorgestellt werden.

3.1.1 Message Queuing and Telemetry (MQTT)

Das Message Queuing and Telemetry Transport (MQTT) Protokoll ist ein Standard, der für verteilte Anwendungen in Netzen mit geringer Bandbreite entwickelt wurde. Es ist sehr leichtgewichtig und daher auch für Geräte mit eingeschränkten Ressourcen geeignet (OASIS 2014).

MQTT implementiert das Publish/Subscribe-Kommunikationsmuster, ein ereignisba siertes Modell zwischen Sendern und Empfängern. Clients publizieren ein Ereignis (event) und versehen dieses mit einem sogenannten Topic-Namen. Interessierte Clients können sich mittels eines Topic-Filters auf Ereignisse registrieren. Sobald ein Ereignis publiziert wird und der Topic-Name einem Topic-Filter entspricht, wird das Ereignis an den interessierten Client weitergeleitet. Diese Benachrichtigung (notification) wird von einer zentralen Komponente, dem Broker, gesteuert. Er erhält und speichert die Abonnements (subscriptions), evaluiert die Topic-Namen einkommender Nachrichten gegen die Topic-Filter der Abonnenten und verteilt die Benachrichtigungen an interessierte Clients. Clients sind durch Ereignisse und Benachrichtigungen verbunden, aber dennoch entkoppelt in Zeit, Raum und Synchronisation. Abbildung 6 zeigt das MQTT Publish/Subscribe System.

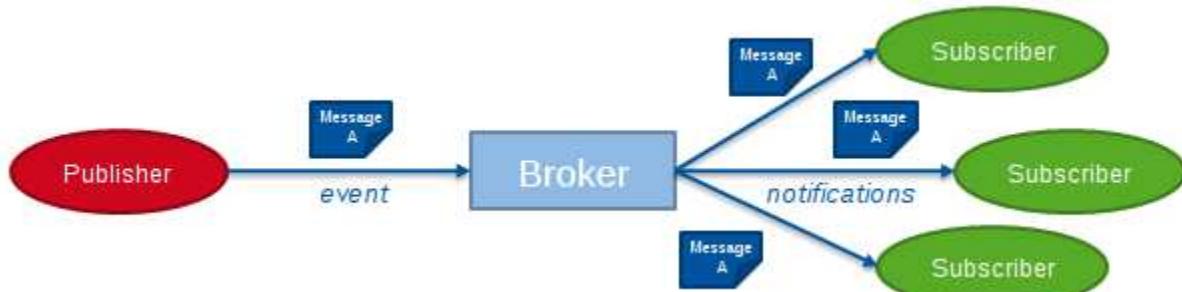


Abbildung 6: Das Publish/Subscribe Modell von MQTT.

Während der Inhalt einer MQTT-Nachricht beliebig ist, folgt der Topic-Name der Nachricht einem Muster. So kann der Topic-Name mittels eines Vorwärtsschrägstrichs "/" hierarchisch strukturiert werden. Beispielsweise könnte eine Nachricht, mit einem Topic-Namen *Raum/217/Temperatur* markiert, die Temperatur des entsprechenden Raumes beinhalten. Ein Feuchtesensor in Raum 237 könnte hingegen den Topic-Namen *Raum/237/Feuchte* benutzen, um seine Nachrichten zu markieren. Topic-Filter sind von

ähnlichem Muster, können aber außerdem die Platzhalter + und # beinhalten. Das Zeichen + kann für eine Hierarchiestufe stehen, das # für beliebig viele, dafür nur einmal am Ende des Topic-Filters auftreten. Ein interessierter Client kann sich beispielsweise auf den Topic-Filter Raum/+ /Temperatur abonnieren und würde sämtliche Temperaturnachrichten aus allen Räumen erhalten. Abbildung 7 zeigt dieses Beispiel mittels zweier Clients, die unterschiedliche Topic-Filter gesetzt haben.

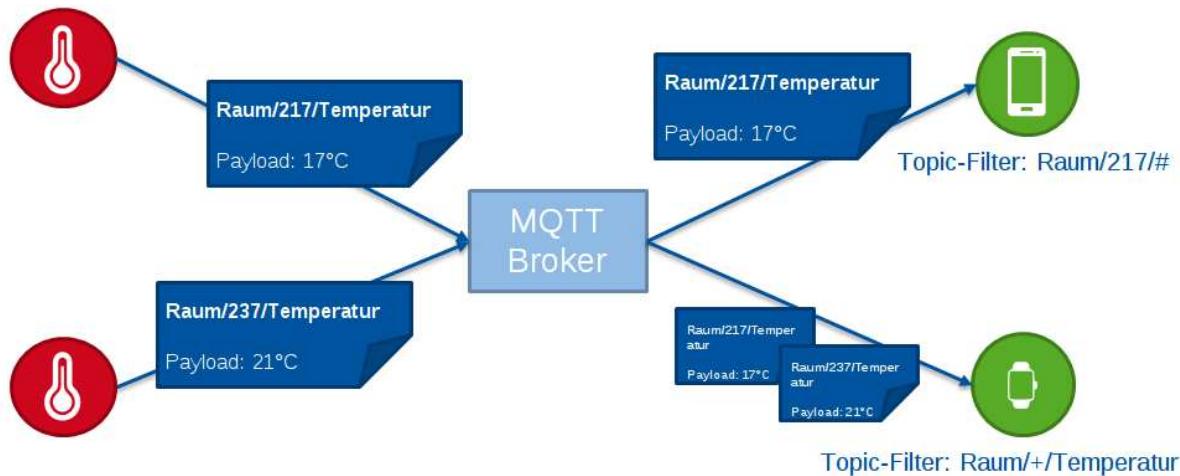


Abbildung 7: MQTT Ereignisse und Benachrichtigungen.

MQTT basiert auf TCP. Allerdings existiert mit der Erweiterung MQTT-SN (MQTT for Sensor Networks) eine Möglichkeit auch verbindungslose Kommunikationsprotokolle wie UDP oder ZigBee einzusetzen (Stanford-Clark und Truong 2013).

3.1.2 GeoMQTT

Bei MQTT wird jede Nachricht von einem Produzenten (Publish) mit einem Topic-Namen markiert. In der Erweiterung GeoMQTT besitzt jede Nachricht zusätzlich zu dem Topic eine Geometrie und einen Zeitstempel bzw. ein Zeitintervall als Metainformation. Dazu wurde das Protokoll um den GeoPublish-Nachrichtentyp erweitert. Der Zeitstempel bzw. das Zeitintervall können in ISO8601-Format oder als Unixzeit angegeben werden. Die Geometrie kann durch verschiedene Encoding Standards für Geometrien spezifiziert werden. Als kleinere Varianten sind bspw. GeoBuf oder Well-known Text (WKT) im räumlichen Koordinatenreferenzsystem WGS84 möglich. Es können aber auch andere Formate wie Extended WKT (EWKT), GeoJSON oder GML gewählt werden. Dadurch können auch komplexe Geometrien und beliebige räumliche Referenzsysteme verwendet werden.

Durch die zu einer Nachricht hinzugefügten Metainformationen können ebenfalls neue Interessen beim Abonnieren von Nachrichten definiert werden. Mittels der neu eingeführten GeoSubscribe-Nachricht lassen sich neben dem Topic-Filter auch ein temporaler Filter und ein räumlicher Filter setzen. Der GeoMQTT-Broker leitet nur dann eine Nachricht an den interessierten Client weiter, wenn alle drei Filter, der temporale, der räumliche und der Topic-Filter, positiv evaluiert werden.

Der temporale Filter definiert Zeitpunkte oder -intervalle nach dem ISO8601-Standard (ISO 2004). Zusätzlich wird eine zeitliche Relation angegeben. Ein Intervall kann durch einen Startzeitpunkt und eine Dauer spezifiziert sein, wie `2016-10-28T11:15:00Z/PT2H30M` mit dem Vorwärtsschrägstrich als Trennzeichen. Die zeitliche Relation wird mit

Allens Intervalalgebra für Intervall-Intervall Beziehungen (Allen 1983) oder Vilains Interval-Zeitpunkt Relation (Vilain 1982) definiert. Mit der Relation *contains* würde ein Client im Beispiel alle Nachrichten mit einem Zeitstempel oder Zeitintervall zwischen 2016-10-28T11:15:00Z und 2016-10-28T13:45:00Z erhalten. Für wiederkehrende Zeitintervalle kann der Startzeitpunkt zusätzlich durch einen CRON-Ausdruck definiert werden.

Der räumliche Filter besteht aus einer Geometrie und einer topologischen Beziehung. Die Geometrie kann wie in der GeoPublish-Nachricht mit verschiedenen Encoding Standards für Geometrien angegeben werden. Als topologische Beziehung kann eine aus dem DE-9IM Modell (Herring 2011) und zusätzlich die Beziehungen *covers* oder *coveredBy* ausgewählt werden. Eintreffende GeoPublish-Nachrichten werden vom Broker mittels der abonnierten Geometrie hinsichtlich der topologischen Beziehung evaluiert.

Neben der Erweiterung für MQTT wurde auch die Erweiterung GeoMQTT-SN entwickelt, um auch verbindungslose Netzwerke zu unterstützen. So ist es auch möglich Sensorknoten, die bspw. in einem ZigBee-Netzwerk angeordnet sind, mit dem GeoMQTT-Broker zu verbinden (Abbildung 8).

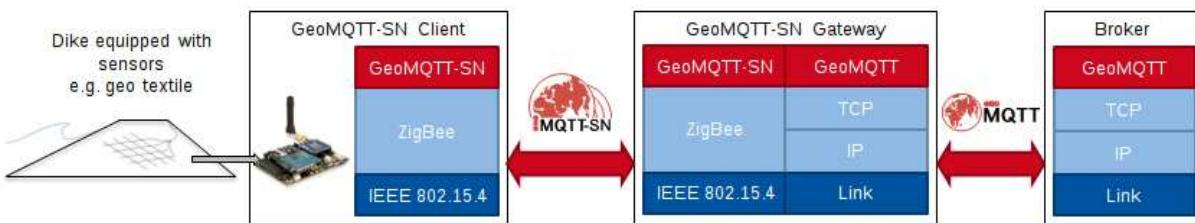


Abbildung 8: Anbindung von Sensorknoten an einen GeoMQTT-Broker.

Dazu ist ein GeoMQTT-SN Client auf dem Sensorknoten (hier ein Arduino Board) installiert. Mittels des Funkstandards ZigBee werden Nachrichten an ein GeoMQTT-SN Gateway übertragen. Die Gateway übersetzt das für ressourcenarme Hardware angepasste Protokoll in Standard-GeoMQTT-Nachrichten und sendet sie mittels TCP/IP an den Broker zur Verteilung.

Das Konzept der GeoPipes kann damit vergleichsweise einfach umgesetzt werden. Ressourcenarme Geräte im IoT können Geodatenströme initiieren, in dem sie GeoMQTT-Nachrichten mit einer Geometrie, einem Zeitstempel/-intervall und einem Eventnamen (Topic-Namen) versehen und ihre Sachdaten, bspw. erfasste Umweltparameter, in dieser Nachricht an einen Broker schicken. Interessierte Clients können sich auf diese Datenströme mit den beschriebenen Mechanismen abonnieren.

Der GeoMQTT Broker wurde in Java implementiert. GeoMQTT Clients wurden in Python und Java sowie ein GeoMQTT-SN Client für Arduinos und Waspmotors umgesetzt. Der Übersetzer in der GeoMQTT-SN Erweiterung ist in C++ implementiert und läuft auf der Gateway in den Sensorsetzwerken.

Abbildung 9 zeigt den Aufbau der verschiedenen Komponenten am Modeldeich in der Halle des IWW. Der Sensorknoten (Wasp mote, oben rechts) misst punktuell die Bodenfeuchte, die Bodentemperatur im Deich, sowie die Lufttemperatur und den Luftdruck. Die gemessenen Daten werden mittels GeoMQTT-SN an das Gateway (Raspberry Pi, links) weitergeleitet. Dieses übersetzt die Nachrichten in das GeoMQTT-Nachrichtenformat und versendet die GeoEvents an einen Broker, der diese an die entsprechenden Interessenten weiterleitet. In der Abbildung ist dies der Deichmonitor, eine Web-Anwendung, die für die Überwachung des Modeldeiches implementiert wurde (unten rechts).

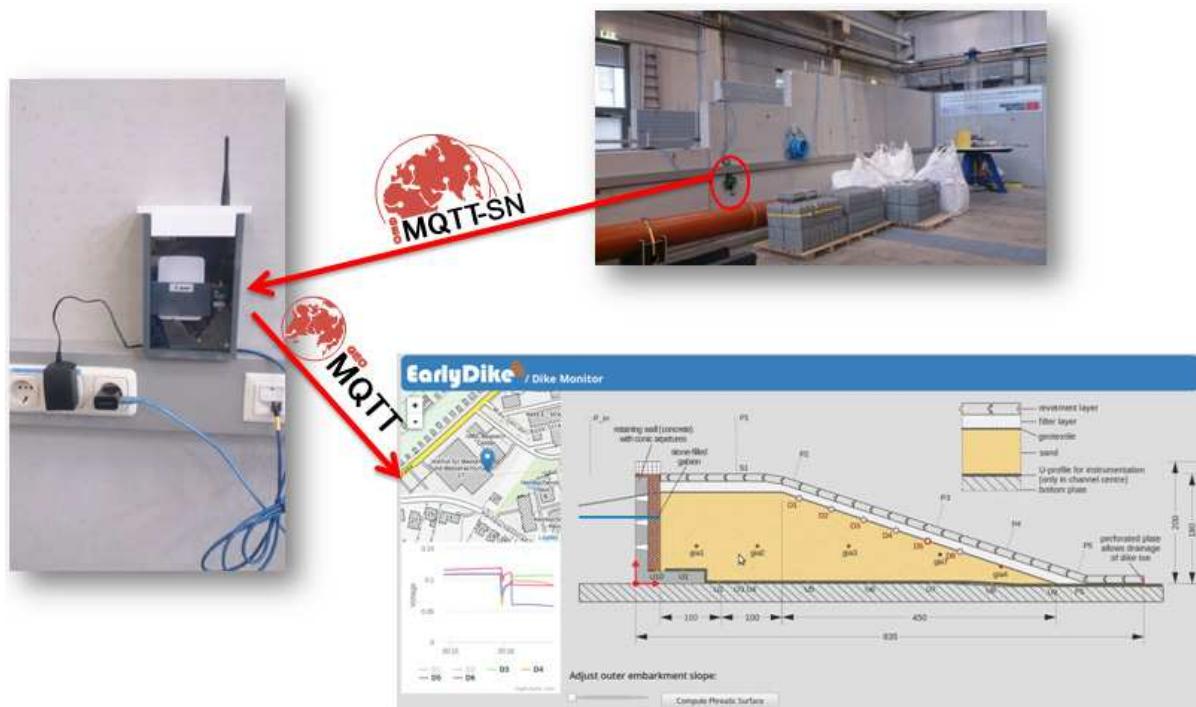


Abbildung 9: Deichüberwachung des Modeldeiches.

3.2 Sensor Web

Zur Verbesserung der Sensorintegration und zur Sicherstellung der Interoperabilität hat das OGC die Sensor Web Enablement (SWE)-Initiative (OGC-SWE 2018) zur Speicherung sowie zum schreibenden und lesenden Zugriff auf Mess- und Sensordaten initiiert. In EarlyDike wird dazu die freie Software der Firma 52°North (52°North 2018) benutzt. Mit ihr erfolgt der interoperable Zugriff auf Sensordaten unter Verwendung von Datentypen und Diensten der SWE-Initiative. Als Datenbank werden von dieser Software PostgreSQL/PostGIS, Oracle, MySQL und Microsoft SQL Server unterstützt, wobei im vorliegenden Fall PostgreSQL/PostGIS (PostgreSQL 2018) eingesetzt wird.

Die Herausforderung ist es, die gemessenen Daten aus den Geosensornetzwerken auf geeignete und im Idealfall auf standardisierte Weise in die datenhaltende Schicht des Sensor Webs zu überführen. Dies geschieht unabhängig von der eingesetzten Hardware, sodass in Zukunft auch andere Sensornetzplattformen problemlos integriert werden können. Die Webdienste der SWE-Initiative wie der Sensor Observation Service (SOS) (OGC-SOS 2018) (Broering et al. 2012) bieten bereits Methoden, um bspw. Sensorwerte der Datenbank hinzuzufügen. Diese Dienste basieren allerdings auf klassischen HTTP-Anfragemethoden und damit auf TCP/IP, das nicht auf den Sensorknoten einsetzbar ist. Daher ist es notwendig, ein low-level Protokoll zu verwenden, um die gemessenen Daten in die datenhaltende Komponente zu überführen. Diese Lücke der Interoperabilität lässt sich am effizientesten durch eine Zwischenschicht lösen, wie es in Broering et al. (2010) vorgeschlagen wird. Diese Zwischenschicht wird „Sensor Bus“ genannt und basiert auf dem „Message Bus“-Architekturmuster. Hierdurch wird der Aufwand, einzelne Sensoren in eine SWE-Infrastruktur zu integrieren, signifikant verringert. Durch Adapterprogramme, die sich als Clients in den Sensor Bus einklinken, können die Daten an die high-level SWE-Dienste auf einfache Weise weitergereicht werden. Im Falle des SOS werden dann bspw. die

Sensordaten in einer Datenbank persistent gespeichert und sind über die Methoden des Dienstes abrufbar. Die beschriebene Lücke der Interoperabilität ist in Abbildung 10 dargestellt.

Es existiert bereits eine Reihe von Kommunikationsprotokollen (z. B. Extensible Messaging and Presence Protocol, XMPP oder Internet Relay Chat, IRC), die grundsätzlich für die Implementierung eines Sensor Bus geeignet sind. Damit die EarlyDike-Sensorknoten jedoch direkt mit dem Sensor Bus kommunizieren können, sind Protokolle, die ausschließlich TCP/IP unterstützen, – wie im vorigen Absatz erwähnt – nicht geeignet. Außerdem mussten die Hardware-Beschränkungen der Sensorknoten berücksichtigt werden.

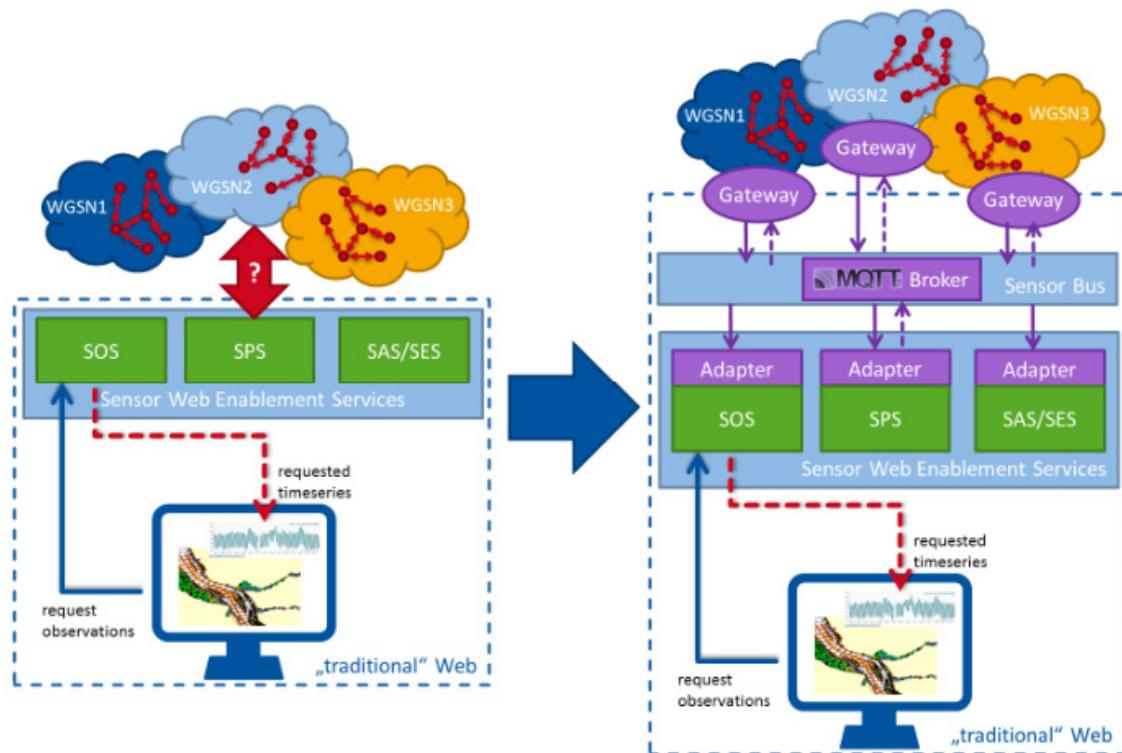


Abbildung 10: Interoperabilitätslücke.

Daher wird im EarlyDike Projekt als Kommunikationsprotokoll das leichtgewichtige Message Queuing and Telemetry Transport (MQTT)-Protokoll (MQTT 2018) verwendet, da mit der Erweiterung MQTT for Sensor Networks (MQTT-SN) ebenfalls eine Version für verbindungslose Protokolle wie ZigBee existiert. Durch MQTT-Clients, die als Adapter fungieren, werden die Daten anschließend in den SOS geladen. Für die Sensorknoten (Waspmote Plug and Play) wurden MQTT-SN-Clients entwickelt, sodass diese leicht an den Sensor Bus angeschlossen werden können. Das Gateway dient als Übersetzer zwischen MQTT und MQTT-SN. Wie in Abschnitt 3.1.2 beschrieben wurden die Clients und das Gateway ebenfalls durch die GeoMQTT-Funktionalitäten erweitert, sodass eine Nachricht neben dem Thema auch einen Zeitstempel bzw. ein Zeitintervall sowie eine Geometrie besitzt.

3.3 Anbindung der Simulatoren

Die dritte Komponente, die es in die Integrationsschicht einzubinden galt, sind die Simulatoren der Projektpartner. Dazu wurde die Zwischenschicht (der Sensor Bus) (siehe Abschnitt 3.2) in einen sogenannten GeoEvent Bus erweitert. Neben der Verteilung von Sensordaten können nun auch andere Ereignisse oder prozessierte Daten auf demselben Bus publiziert werden (Abbildung 11). Prozessierungsdienste registrieren sich beim GeoEvent Bus und abonnieren die Topics, auf denen die Sensordaten, die sie verarbeiten sollen, veröffentlicht werden. Die Ergebnisse der Verarbeitung werden wieder zurück in den GeoEvent Bus publiziert. Zum einen können so die Sensordaten auf einfache Weise postprozessiert werden, um bspw. fehlerhafte Messwerte (Outlier) direkt herauszufiltern. Zum anderen können die Simulatoren der Projektpartner unmittelbar die aktuellsten Messwerte oder Simulationsergebnisse erhalten.

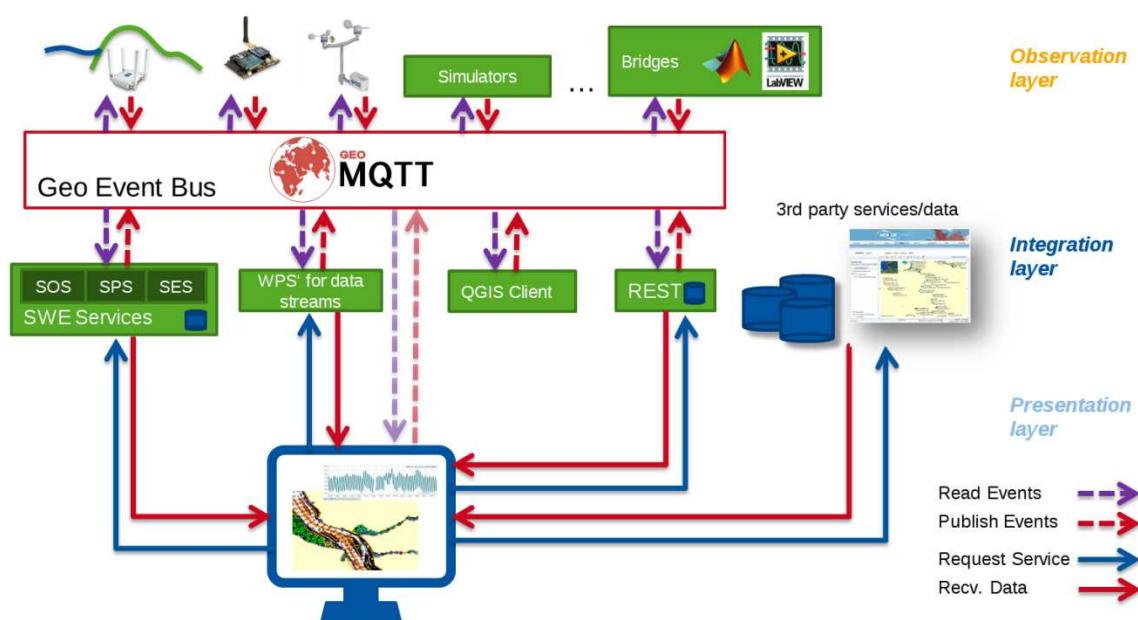


Abbildung 11: GeoEvent Bus in der EarlyDike-Architektur (angelehnt an Herle et al. 2016).

Auf diese Weise können ganze Prozessketten umgesetzt werden, die auf Datenströmen agieren. In EarlyDike stellt sich eine solche Prozesskette wie in Abbildung 12 dar.

Die simulierten Wasserpegel aus dem Sturmflutsimulator (Niehüser et al. 2018) werden mittels GeoMQTT über den GeoEvent Bus sowohl an den SOS Server übertragen, um die Daten persistent abzuspeichern und als Dienste bereitzustellen, als auch an den Wellensimulator (Dreier und Fröhle 2018). Letzterer wird gestartet, sobald die Wasserstands-vorhersagen vorliegen. Die simulierten Seegangs- und Wellenauflaufvorhersagen werden ebenfalls wieder in den GeoEvent Bus publiziert, sodass diese im SOS abgespeichert und als Dienst angeboten werden können.

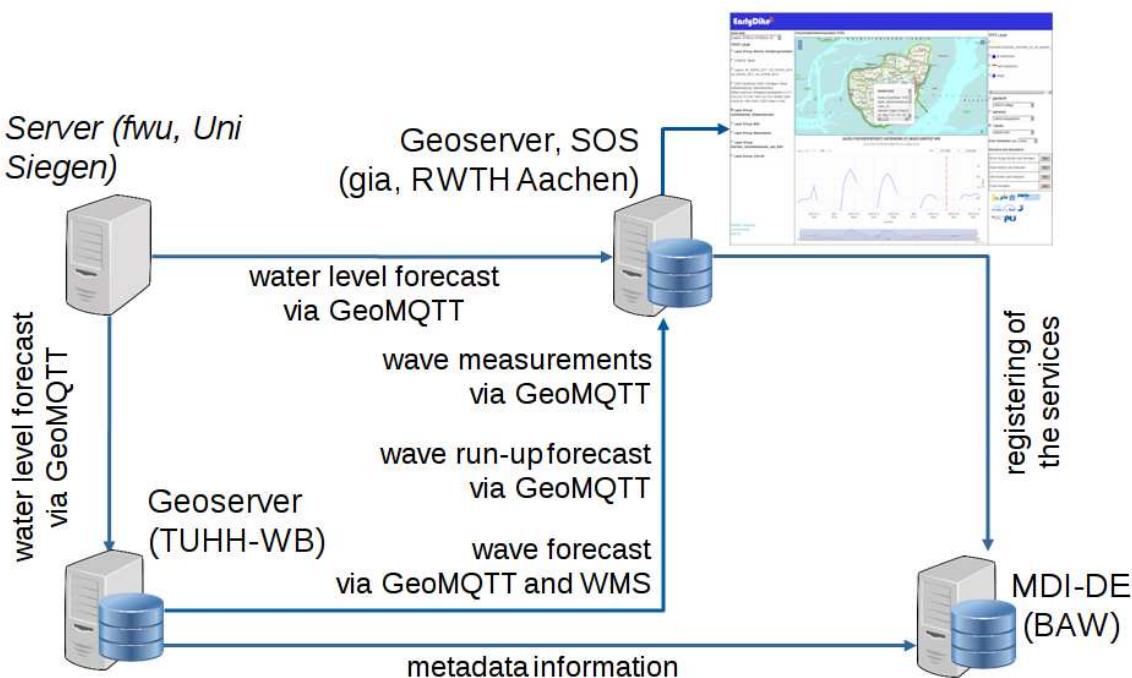


Abbildung 12: Anbindung von Simulatoren und Umsetzung von Prozessketten.

4 Präsentationsschicht

Die Präsentationsschicht wird im Wesentlichen durch ein Webportal (Geoportal) zur Visualisierung der Ergebnisse des Monitorings und der Simulatoren gebildet. Durch den Internetansatz wird der Zugriff jederzeit und an jedem Ort auf alle relevanten Informationen mittels stationärer und mobiler Endgeräte ermöglicht.

Web-Portale dienen dem Auffinden, Visualisieren, Zugriff und Abfragen von Geoinformationen (Bernard et al. 2005). Viele Geoportale bieten heute einen zentralen Einstiegspunkt zu Geodateninfrastrukturen, z. B. das GeoPortal NRW, die Portale der Metropolregionen Hamburg (Metropolregion Hamburg 2018) und Berlin (Senat Berlin 2018) oder die Marine Daten-Infrastruktur Deutschland (vgl. Abschnitt 5). Zudem bieten Geodatenportale zunehmend INSPIRE-konformen Zugang zu georeferenzierter Information zu Themen wie Energie, Umwelt, Landnutzung etc.

4.1 Konzept

Zur Realisierung der webbasierten Benutzeroberfläche werden die 2015 bis 2018 für Webportale verfügbaren Technologien verwendet. Grundlage ist die für die Webseitenerstellung gängige Auszeichnungssprache HTML, die derzeit in der Version 5 vorliegt und von den gängigen Webbrowsern unterstützt wird. Neben HTML werden für die Darstellung der Webseiten Cascading Style Sheets (CSS) eingesetzt. Zur Dynamisierung der Benutzeroberfläche wie Benutzerinteraktionen und die Veränderung von Inhalten sind zusätzliche Mittel erforderlich. Hier wird die Skriptsprache JavaScript benutzt, für die eine Großzahl von vielfach frei verfügbaren Bibliotheken existiert. Zur Präsentation der Geodaten wird vor allem die JavaScript-Bibliothek OpenLayers (OpenLayers 2018) verwendet. Der Zugriff auf HTML- oder XML-Dokumente über das Internet erfolgt mittels

Funktionen der freien JavaScript-Bibliothek jQuery (jQuery 2018) mit der Erweiterung Ajax (Asynchronous JavaScript and XML) (Ajax 2018) zur asynchronen Datenübertragung zwischen Browser und Server. Für nicht über Web-Services verfügbare Daten Dritter wurde zusätzlich ein eigener Mapserver, der Geoserver (Geoserver 2018), eingerichtet, so dass auch diese Daten als Geodatendienste zur Verfügung stehen und zu einem späteren Zeitpunkt ohne zusätzlichen Aufwand auf Web Services der originären Datenanbieter umgestellt werden könnten.

4.2 Benutzeroberfläche

Ein Geoportal bedarf einer für den Einsatzzweck geeigneten, intuitiven Benutzeroberfläche. Sie muss den Anforderungen der potenziellen Nutzer gerecht werden, welches in erster Linie Fachanwender sind. Zentrales Element des EarlyDike-Geoportals ist daher ein interaktiver Kartenviewer mit den üblichen Funktionalitäten wie Kartenausschnitt vergrößern bzw. verkleinern, verschieben etc. Verschiedenste für den Anwender wichtige Basis-, Hintergrund wie auch Fachdatenkarten müssen wählbar, zuschaltbar und transparent überlagernd dargestellt werden können, um aus den aggregierten Informationen die notwendigen Schlüsse ziehen zu können. Hinzu kommt der möglichst einfache Zugang zu den und die Auswahl der Fachdaten durch entsprechende Auswahlmenüs in der Portaloberfläche.

4.3 Externe Daten

Die Daten Dritter sind einerseits als Grundlage für die Simulationen notwendig. Andererseits sollen sie als Basis- oder Hintergrundkarten (z. B. Topografische Karten) bzw. als weitergehende Informations- und Beurteilungsgrundlage (z. B. Orthofotos) im Geoportal dienen. Hierzu wurden in Zusammenarbeit mit den anderen Projektpartnern die benötigten Daten definiert sowie recherchiert, welche Institutionen die Daten führen und in welchen Datenformaten die Daten über das Internet (kostenfrei) abrufbar sind.

Eine Recherche bezüglich benötigter und verfügbarer Daten für die Anforderungen der verschiedenen an das Geoportal angeschlossener Simulatoren (Sturmflut-, Wellen-, Deich- und Überflutungssimulation) ergab die Tabelle 1.

Priorität im Hinblick auf die Verwendung und Darstellung im Geoportal haben standardisierte Webdienste wie der WMS (OGC-WMS 2018) und der WFS (OGC-WFS 2018). Während die Webdienste gerade auf die Verwendung für Geoportale ausgelegt sind und entsprechende Interpreter in der Präsentationssoftware (z. B. OpenLayers) zur Verfügung stehen, liegen für das in der Meteorologie verwendete GRIdded Binary Format „GRIB“ und das für den Austausch wissenschaftlicher Daten gebräuchliche Network Common Data Forma „nc“ zunächst keine einfachen Lösungen vor. Shape-Dateien wurden in einen eigenen Mapserver eingespielt und aus diesem heraus als Dienst in das Geoportal eingebunden. REST (Representational State Transfer)-Dienste wie zum Beispiel beim Dienst „Pegelonline“ der WSV liefern direkt georeferenzierte (Raster)-daten. „Pegelonline“ bietet außerdem Webdienste für z. B. interaktive und statische Visualisierungen von Pegelganglinien an.

Für die Webservices WMS und WFS ergeben sich die genauen Informationen über die GetCapabilities-Abfrage des jeweiligen Dienstes. Sie weisen neben beschreibenden Informationen über die Inhalte auf die verfügbaren Layer, Projektionen und Formate der Daten

hin. Gerade bei WMS ist die Information zur verwendeten Kartenprojektion wichtig, da unterschiedliche Projektionen im Geoportal nicht kombiniert werden können. Bei WFS ist dies unproblematisch, da die Koordinaten zwischen den gängigen räumlichen Koordinatenreferenzsystemen transformiert werden können.

4.3.1 Kartenservices

Zur räumlichen Orientierung werden verschiedene mögliche und wählbare Hintergrundkarten über WMS-Dienste angeboten. Da als potenzielle Nutzer von EarlyDike in erster Linie Landesbehörden bzw. deren für den Küstenschutz zuständige Institutionen angesehen werden, sollten die länderspezifischen Grundkartenwerke der beiden an die Nordsee angrenzenden Länder Niedersachsen und Schleswig-Holstein als Basiskartenwerke zur Verfügung gestellt werden. Während der WMS von Schleswig-Holstein im Rahmen der Open-Data-Initiativen frei verfügbar ist, gilt dies für die Daten Niedersachsens noch nicht, so dass dieser derzeit nicht integriert werden kann. Die Landeskartenwerke haben allerdings den Nachteil, dass ihr Karteninhalt auf die entsprechenden Länder beschränkt ist, so dass zusätzlich der WMS WebAtlasDE (WebAtlasDE 2018) in seiner frei verfügbaren Version *WebAtlasDE.light* integriert wurde. Der *WebAtlasDE* bietet den Vorteil einer deutschlandweit einheitlichen Kartendarstellung in unterschiedlichen Zoomstufen auf der Grundlage amtlicher Geobasisdaten. Er wurde von Bund und Ländern gemeinsam entwickelt und wird durch das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) bereitgestellt. Doch auch seine Inhalte enden an der Bundesgrenze. Der erst im Jahre 2017 geschaffene und ebenfalls vom BKG bereitgestellte WMS TopPlusOpen (TopPlusOpen 2018) vereint und kombiniert weltweit verfügbare freie und amtliche Datenquellen, u. a. freie amtliche Geodaten des Bundes und der Open-Data-Länder. Weitere WMS-Dienste wie z. B. Informationen zum Relief oder zur Schummerung sind unter Angabe der Datenquelle (URL) und der gewünschten Layer leicht integrierbar.

Zusätzliche, insbesondere fachspezifische Informationen, die von Dritten im Idealfall über Web Services bereitgestellt werden (siehe Tabelle 1), werden als Überlagerung zur Basiskarte integriert. Um eine Informationsüberfrachtung zu vermeiden und um das Kartenbild übersichtlich zu halten, sind die fachspezifischen Informationen einzeln zu- und abschaltbar sowie über Schieber stufenlos transparent bzw. opak schaltbar. Ebenfalls zu Zwecken der Übersichtlichkeit sind sie themenbasiert und entsprechend der Art des Dienstes (WMS bzw. WFS) gruppiert. Auch diese Dienste können durch Angaben der Datenquelle (URL) und der Layer bzw. des gewünschten Features leicht ergänzt werden. So sind beispielsweise Orthophotos Schleswig-Holsteins, die Bathymetrie (Abbildung 13) und Daten des marinen Umweltnetzes der BSH sowie die gewidmeten Deiche und Schutzdünen aus den Umweltkarten Niedersachsens integriert.

Tabelle 1: Zusammenstellung der Recherche notwendiger bzw. sinnvoller externer Daten.

Daten	Datenführende Institution	Format/ Webdienst
Geobasisdaten (Landtopographie, Orthophotos, Geländemodelle, Grenzen) in Schleswig Holstein	Landesamt für Vermessung und Geoinformation Schleswig-Holstein (LVerM-Geo SH)	WMS
Geobasisdaten (Landtopographie, Orthophotos, Geländemodelle, Grenzen) in Niedersachsen	Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen (LGLN)	WMS
Geobasisdaten (WebAtlasDE und DGM200)	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG))	WMS
Geobasisdaten (Bathymetrie, Hintergrundkarte)	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)	WMS
Bathymetrie	National Centers for Environmental Information beim National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)	WMS
Wettervorhersagen	Deutscher Wetterdienst (DWD)	GRIB
Meteorologische Daten (z. B. 20th Century Reanalysis)	National Centers for Environmental Information beim National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)	nc
Pegeldaten	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (BAW)	WMS, WFS, REST
Pegeldaten	Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (MELUR)	WMS, WFS, CSV
Stündliche Vorhersage-Windfelder (u- und v-Komponenten) der Modelle Cosmo-EU bzw. Cosmo-DE als Rasterdatensatz	Deutscher Wetterdienst (DWD)	GRIB
Rasterdatensatz Bathymetrie der Nordsee	Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI)	WMS
Stündliche Strömungsvorhersagefelder des BSH als Rasterdatensatz	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)	WMS
Seegangsmessdaten der Stationen FINO1 und FINO3, Elbe sowie Nordseeboje 2 bzw. 3	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)	WMS
Vorhersagedaten zu Wasserständen	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)	WMS
Messdaten Seegang, lokale Wasserstände und Strömungen	Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz des Landes Schleswig-Holstein (LKN-SH)	WMS, WFS
Deichlinie Schleswig-Holstein	Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz des Landes Schleswig-Holstein (LKN-SH)	Shape
Deichlinie Niedersachsen	Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz (MU)	WMS



Abbildung 13: WMS für die AufMod-Bathymetrie des BSH German North Sea von 2012.

Die Deichlinien Schleswig-Holsteins sind bisher leider nicht über Web Services verfügbar. Für sie konnten, nachdem die Daten als Shape-Dateien zur Verfügung gestellt wurden, eigene WMS- und WFS-Dienste mit der freien Software Geoserver (Geoserver 2018) aufgesetzt werden.

4.3.2 Semantische Informationen

Während die Signatur der Fachinformationen im Kartenbild vor allem die örtliche Lage und weniger die ausführlichen semantischen Daten einer Fachinformation nachweist, werden über zusätzliche Dialogfenster weitere Fachdaten dargestellt. Dies geschieht für semantische Fachdaten über sich zusätzlich öffnende Datenfenster. Für komplexere Visualisierungen wie Zeitreihen oder Bildobjekte (png, tif, etc.) steht ein zusätzlicher, großflächiger Bereich der Benutzeroberfläche bereit.

Über den GetFeatureInfo-Request des WMS bzw. den GetFeature-Request des WFS können semantische Informationen zu den angebundenen WMS (Abbildung 14, GetFeatureInfo-Request Deich Niedersachsen) bzw. WFS (Abbildung 15) abgerufen und angezeigt werden.

102

GeoSeaPortal

Das Geodatenportal des BSH



FEATUREID	822973
DATASETDESC	Morphologic data (project AufMod)
NAME	Bathymetry AWZ 2012
SHELFAREA	GermanBight
ORGANIZATION	smile :)
PARAMETER	Bathymetry
PARAMETERDESCRIPTION	data based modelled bathymetry, spatiotemporal interpolation
PARAMETERCLASSIFICATION	20 - 25
UNIT	m (NN)
ASCIIFILE	BathymetryAWZ_2012.csv
FILELOCATION	ftp.bsh.de/outgoing/AufMod-Data/CSV_XYZ_files /Bathymetries1982_2012CSV
SHAPE	Polygon
FEATUREID	821353
DATASETDESC	Morphologic data (project AufMod)
NAME	Bathymetry AWZ 2012
SHELFAREA	GermanBight
ORGANIZATION	smile :)
PARAMETER	Bathymetry
PARAMETERDESCRIPTION	data based modelled bathymetry, spatiotemporal interpolation
PARAMETERCLASSIFICATION	25 - 30
UNIT	m (NN)
ASCIIFILE	BathymetryAWZ_2012.csv
FILELOCATION	ftp.bsh.de/outgoing/AufMod-Data/CSV_XYZ_files /Bathymetries1982_2012CSV
SHAPE	Polygon

Abbildung 14: GetFeature-Request (rechts) für die AufMod-Bathymetrie des BSH German North Sea von 2012.



Abbildung 15: GetFeature-Request für die Deichlinie in Schleswig-Holstein.

Weitere relevante Informationen im WFS-Format liefern beispielsweise der Deutsche Wetterdienst (DWD) mit Gewässerdaten, die Wasser- und Schiffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) mit Pegeldaten bzw. das Land Schleswig-Holstein mit landeseigenen

Pegelinformationen. Auf Anforderung können im Fall der WSV-Daten über die REST-Schnittstelle des Gewässerkundlichen Informationssystems der WSV des Bundes (Pegelonline) die aktuellen Wasserstandinformationen abgerufen werden (Abbildung 16). Im Fall der Pegeldaten des Landes Schleswig-Holstein werden die Daten automatisch als CSV-Daten abgerufen und in eine Zeitreihendarstellung überführt.

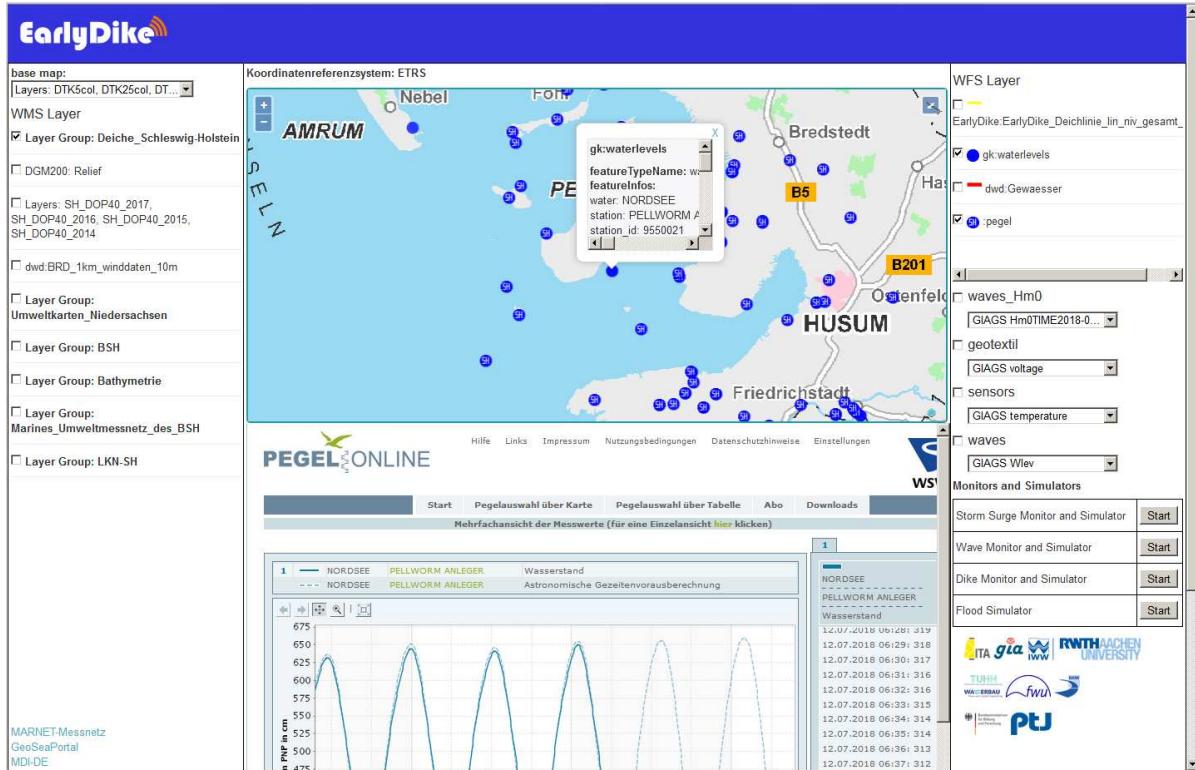


Abbildung 16: WFS der Pegeldaten der WSV und der Umweltverwaltung Schleswig-Holstein mit REST-Schnittstelle des Gewässerkundlichen Informationssystems der WSV (Pegelsonline).

4.4 Sensordaten und Ergebnisse der Simulatoren

Im Sensornetzwerk (siehe Abschnitt 2) und bei den verschiedenen Simulatoren fallen Sensordaten bzw. Simulationsergebnisse an, die in einer Postgres/PostGIS-Datenbank gespeichert werden. Der schreibende wie auch lesende Zugriff erfolgt über den Sensor Observation Service (SOS). Sensordaten sind z. B. die Temperatur am Deich und die elektrische Spannung an den Fasern im Geotextil aus dem Deichmonitoring (siehe auch Krebs und Schüttrumpf 2018). Simulationsergebnisse sind z. B. Prognosen der Wasserstände am Deich resultierend aus dem Windstau (siehe auch Niehäuser et al. 2018) bzw. dem Wellenmonitoring und der Wellensimulation (siehe auch Dreier und Fröhle 2018). Diese Daten werden unter Nutzung des SOS-Web-Dienstes in das Geoportal eingebunden. Die einzelnen Sensoren sind verortet und werden im Kartenbild an der entsprechenden Stelle mit geeigneter Signatur präsentiert. Sie sind außerdem mit einem Zeitstempel versehen, so dass Zeitreihen visualisiert werden können. Zur Visualisierung der Zeitreihen dient die JavaScript-Bibliothek Highcharts (Highcharts 2018). Abbildung 17 zeigt beispielhaft die Zeitreihe für die Spannungsmesswerte für eines der Geotextile, das in einem Testdeich in der Versuchshalle des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der RWTH Aachen installiert wurde.

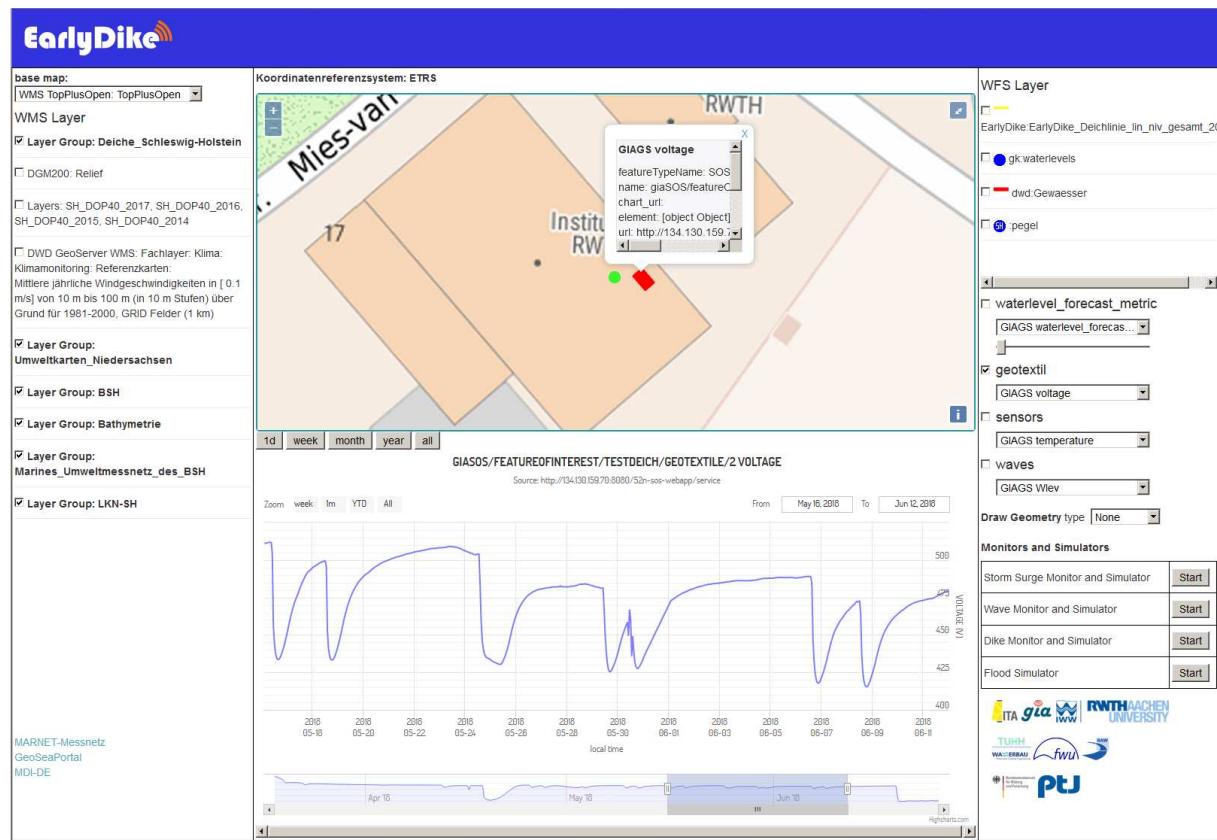


Abbildung 17: Geoportal – Spannungsmesswerte eines Geotextils.

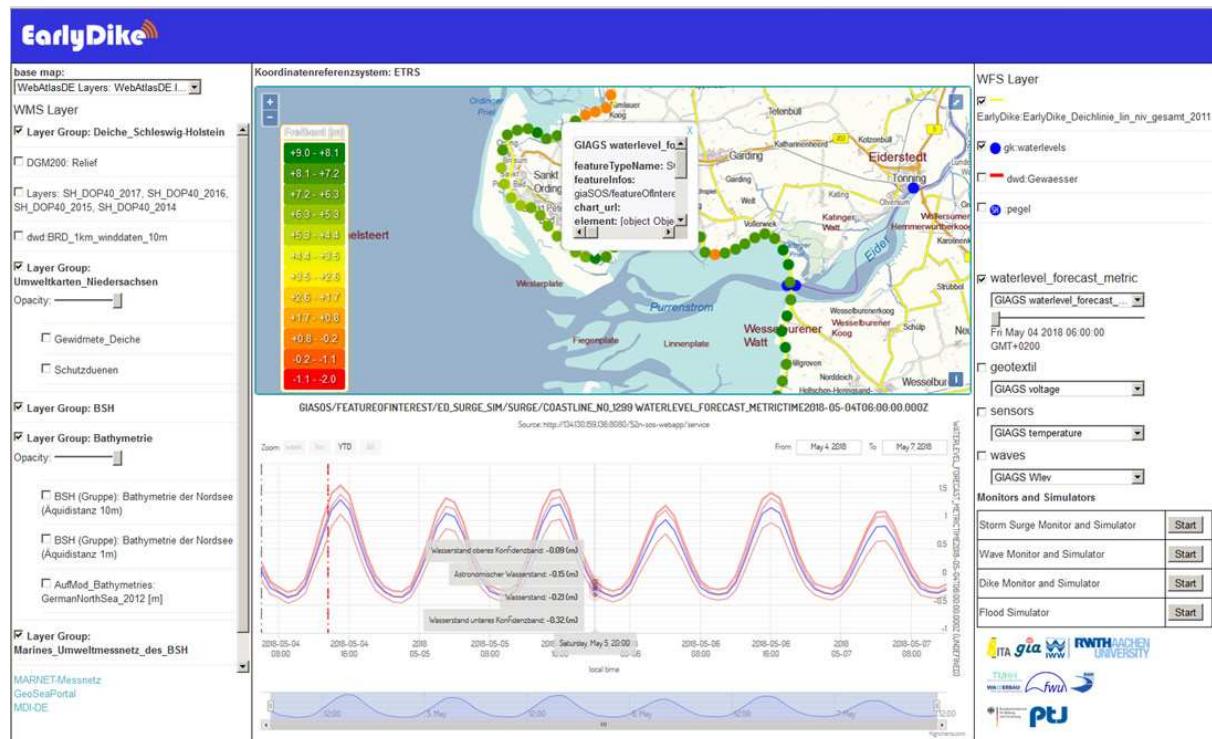


Abbildung 18: Geoportal - Wasserstandsvorhersage 2018-05-04 06UTC der FWU.

Die Vorhersagen von Wasserständen an den Küsten sind mit einem Zeitstempel bezüglich der Prognoseerstellung versehen. Einzelne Prognoseerstellungszeitpunkte sind über eine Pull-Down-Liste abrufbar. In Abbildung 18 ist beispielhaft eine Vorhersage von

Wasserständen mit Konfidenzband und astronomischen Anteil dargestellt. Im Kartenbild sind die einzelnen Orte der Prognose farbkodiert nach dem verbliebenen Freibord eingezeichnet. Bei Bewegung eines Schiebers über die Zeit passt sich die Farbkodierung der Prognoseorte automatisch an.



Abbildung 19: Geoportal - Vorhersage der signifikanten Wellenhöhe 2018-07-19 00UTC 50 m vor dem Deich Untjehörn.

Die in der SOS-Datenbank gespeicherten Daten der Wellenauflaufsimulation werden in analoger Form visualisiert. In einer Drop-Down-Liste können die gewünschten Parameter zu Visualisierung als Zeitreihe abgerufen werden. Die jeweils aktuellste Simulation wird dargestellt. Abbildung 19 zeigt dies beispielhaft für den Parameter „signifikanten Wellenhöhe“ (Hm0).

Derzeit arbeiten die Simulatoren unabhängig von einer Steuerung über das Geoportal und liefern ihre Ergebnisse über den GeoEvent Bus in die dem SOS zugrundeliegende Datenbank (siehe Abschnitt 3.2). Letztlich ist aber auch ein manuelles Anstoßen von Simulationen denkbar. Hierfür sind entsprechende grafische Oberflächenelemente vorgesehen.

4.5 Zugriffssicherung

Die SSDI von EarlyDike wurde mit einem internetbasierten Zugriff versehen, um möglichst jedermann jederzeit und an jedem Ort den Zugang auf die Anwendung zu ermöglichen. Bei EarlyDike geht es um den Schutz der Bevölkerung vor Deichversagen und in der Folge um großflächige Überschwemmungen im Deichhinterland. Nicht sachgemäß interpretierte Prognosewerte können im Zweifel zu unkontrollierbarem Verhalten der Bevölkerung führen. Einige Informationen sollten daher lediglich sachkundigen und zuständigen

Nutzern zur Verfügung stehen bzw. vor der Freigabe für jedermann auf ihre Wirkung geprüft werden. Eine entsprechende Zugriffssicherung ist derzeit sowohl durch Abgleich der Rechner-IP des Datenabruftenden als auch durch Passwortschutz gewährleistet. Damit ist das Geoportal im Grundsatz von jedem internetfähigen stationären oder mobilen Endgerät erreichbar.

5 Nutzung der Marinen Dateninfrastruktur Deutschland zur Kommunikation

Mit Hilfe des innovativen GeoEvent-Busses zur Anbindung von Datenquellen und Sensoren zum Online-Geomonitoring wurde das EarlyDike-Geoportal als Basis für ein Frühwarnsystem aufgebaut. Die Veröffentlichung und Bereitstellung der Ergebnisse erfolgt über vorhandene Geodateninfrastrukturen für verschiedene Zielgruppen unter Einhaltung der dabei geltenden Implementierungsregeln.

5.1 Informationsplattformen MDI-DE und NOKIS

Die Vereinbarung zur Weiterentwicklung und Pflege von Konzeptionen und Software für Umweltinformationssysteme (VKoopUIS) bildet die rechtliche Grundlage für den Zusammenschluss von Bundes- und Landesbehörden aus der deutschen Küstenzone, die Informationsplattform „Marine Dateninfrastruktur Deutschland (MDI-DE)“ gemeinsam dauerhaft zu betreiben (Lehfeldt und Melles 2014). Unter Begleitung einer ministeriell besetzten Lenkungsgruppe wird die MDI-DE gemeinsam von der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) und dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) geleitet.

Im zugehörigen Geoportal (<https://www.mdi-de.org>) stellen die zuständigen Behörden (BSH, BfN, NLWKN, NLPV, LLUR, LKN, LUNG) marine Fachdaten und Informationen bereit, die über einen gemeinsamen Index recherchiert und mit Web-Diensten genutzt werden können.

Die Verbundpartner stellen umfassende Informationen über die Küstenzone zur Verfügung, um die steigenden fachlichen Anforderungen an die Analyse und Bewertung von Umweltsituationen erfüllen zu können sowie den Anforderungen aus der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL), der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (HWRM-RL), der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-RL), der Vogelschutzrichtlinie (VRL), der Trilateralen Zusammenarbeit zum Schutz des Wattenmeeres (TMAP), dem „Übereinkommen über den Zugang zu Informationen, die Öffentlichkeitsbeteiligung an Entscheidungsverfahren und den Zugang zu Gerichten in Umweltangelegenheiten“ (Arhus-Konvention), der „Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über den Zugang der Öffentlichkeit zu Umweltinformationen (2003/4/EG)“, dem Umweltinformationsgesetz (UIG) und den Durchführungsbestimmungen der Europäischen Geodaten Infrastruktur (INSPIRE) soweit möglich gerecht zu werden.

Dementsprechend werden die marinen Datenbestände von Bund und Ländern aus den Bereichen Küsteningenieurwesen und Küstengewässerschutz, Meeresumweltschutz und Meeresnaturschutz im MDI-DE Fachportal interoperabel und homogenisiert für Recherche und Nutzung zur Verfügung gestellt, um die Anforderungen von MSRL und INSPIRE termingerecht erfüllen zu können. Neben den Vereinbarungspartnern können weitere Datenquellen in das offene Netzwerk der MDI-DE über standardisierte Metadaten und

Dienste eingebunden werden. Damit werden Datenbestände aus den Küstenbehörden zusammen mit Datenbeständen aus der Forschung einheitlich recherchierbar und nutzbar. Die MDI-DE stellt eine Plattform dar, aus der sich zukünftig die breite Öffentlichkeit, Wirtschaft, Politik, Verwaltung und marine Wissenschaft bedienen können.

Geoportale benötigen Metadaten, um die veröffentlichten Daten für eine gezielte Suche nach Daten, Dokumenten und Diensten zu beschreiben. Mit dem Nord- und Ostsee Küsten-Informations-System (NOKIS) wurde dazu seit 2001 ein Metadaten-Informations-System als technische Plattform etabliert (Lehfeldt et al. 2014), das von vielen Behörden in der deutschen Küstenzone genutzt wird. Im Gegensatz zu anderen Erfassungs- und Pflege-Werkzeugen bietet NOKIS ein Metadaten-Profil an, das auf die Belange der Küstenzone zugeschnitten ist und notwendige Zusatzinformationen für Geodaten im Küstenbereich berücksichtigt.

An der Entwicklung dieses „Küstenzonen“-Profils sind die oben genannten MDI-DE Verbundpartner beteiligt gewesen. Auch diese Software wird unter dem Dach der V-KoopUIS dauerhaft betrieben. NOKIS stellt zwei weitere Metadaten-Profile zur Verfügung, mit denen die Verbreitung von Informationen über digitale Katalog-Schnittstellen unterstützt wird.

Das „Projekte“-Profil wird insbesondere vom KFKI zur Dokumentation von Küstenforschungsprojekten genutzt und ist eine Adaption des „European Directory of Marine Environmental Research Projects EDMERP“ (Schaap 2000). Für „Digital Object Identifier DOI“ von Publikationen sind Metadaten (DataCite 2018) erforderlich, die als „Publikations“-Profil in NOKIS implementiert sind. Für Geodatensätze werden die benötigten DOI-Metadaten aus dem Küstenzonen-Profil automatisch erzeugt.

Mit NOKIS werden Projekte aus der Küstenforschung, deren Berichte und Ergebnisdaten umfassend und strukturiert mit Metadaten dokumentiert. Über CSW Katalogschnittstellen können Geoinformationssysteme diese Informationen abrufen (Lehfeldt und Mulckau 2017) und in ihren Rechercheoptionen verwenden.

5.2 Infrastrukturknoten der MDI-DE

Zur Präsentation der Projektergebnisse und deren Auffindbarkeit wird der Inhalt des Early-Dike-Geoportals in das Geoportal der Marinen Dateninfrastruktur Deutschlands (MDI-DE) integriert. Dazu werden sowohl Geodatendienste über einen Mapserver (Geoserver) als auch die Beschreibung von Daten und Diensten in einem Metadaten-Informations-System bereitgestellt. Die Metadaten aller Infrastrukturknoten werden von der MDI-DE abgerufen und in einem gemeinsamen Index zusammengeführt, der für die Recherche im Fachportal genutzt wird. Die Anbindung durch WMS (Visualisierung) und WFS (Download) Dienste für die Daten und durch Harvesten der Metadaten über eine CSW Katalogschnittstelle wird in Abbildung 20 skizziert.

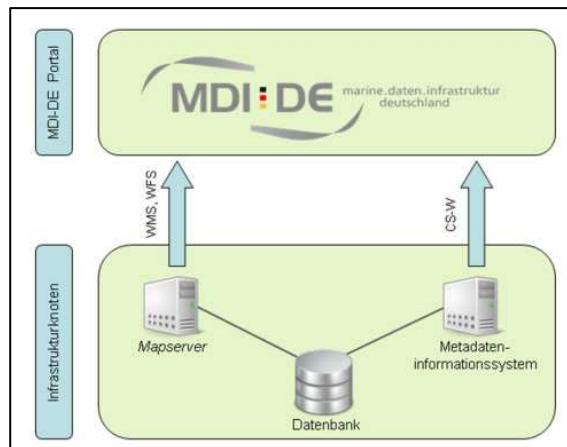


Abbildung 20: Anbindung eines MDI-DE Infrastrukturknotens, vgl. Lehfeldt und Mulckau (2017).

Die Monitoring-Ergebnisse aus dem Projekt standen somit während der Projektlaufzeit durch die technische Integration des EarlyDike-Geoportals über den MDI-DE Infrastrukturknoten bei der BAW für weitere Nutzungen zur Verfügung und konnten mit Daten aus der Modellierung und anderen Beobachtungsdaten verschchnitten werden. Ihre Auffindbarkeit und Verfügbarkeit wurde durch die Funktionalität der Web-Service-Schnittstellen nicht nur innerhalb der MDI-DE gewährleistet.



Abbildung 21: Geodaten Infrastrukturen.

Die Anbindung der MDI-DE an die nationale Geodateninfrastruktur GDI-DE, die ihrerseits mit dem INSPIRE-Portal der Europäischen Geodateninfrastruktur verknüpft ist, bewirkt, dass die veröffentlichten Daten in den Such-Indexen dieser Geoportale recherchierbar sind. Standardisierte Web-Dienste zur Visualisierung und zum Herunterladen ermöglichen die durchgängige Nutzung der Daten. Damit sind die wesentlichen Schritte zur Publikation von Daten aus dem Verbundprojekt EarlyDike in bestehenden Geodateninfrastrukturen (vergl. Abbildung 21) mit standardisierten Methoden erfolgt.

5.3 Metadaten

Metadaten bilden eine wesentliche Komponente in Portalen von Dateninfrastrukturen. Sie ermöglichen eine gezielte Recherche nach Daten und Diensten zu deren Nutzung. Neben den verpflichtenden Angaben zum Auffinden von Ressourcen kann auch die Datenqualität

ausführlich dokumentiert werden, um die Gebrauchstauglichkeit von Ressourcen zu bewerten.

The screenshot shows a search result page titled "Treffer 1 - 6 von 6". The results are listed in a vertical scrollable area:

- Dienst Earlydike**: Published by Bundesanstalt für Wasserbau / KFKI on 2017-09-25. Description: Web Map Service (WMS) from the Geoserver of the Bundesanstalt für Wasserbau, publishing data in the form of layers via the Earlydike portal. Includes links for Gebiet, Bestellen, Download, Drucken, XML, KML, WMS, and Mehr.
- Messkette Earlydike**: Published by Bundesanstalt für Wasserbau / KFKI on 2017-09-19. Description: Measurement chain from pressure sensors and measurement poles from LKN-SH and TUHH. It provides data for further use in the Earlydike project. Includes links for Gebiet, Bestellen, Download, Drucken, XML, KML, and Mehr.
- Test-Wasserstandsvorhersagen Uni Siegen**: Published by Bundesanstalt für Wasserbau / KFKI on 2017-05-12. Description: Calculation of water level data in the North Sea in the Earlydike project. Includes links for Gebiet, Bestellen, Download, Drucken, XML, KML, and Mehr.
- Test-Seegangsparameter TUHH**: Published by Bundesanstalt für Wasserbau / KFKI on 2017-05-19. Description: Sample dataset of pressure measurement data from the Earlydike project using ADCP measurement 1. Includes links for Gebiet, Bestellen, Download, Drucken, XML, KML, and Mehr.

Abbildung 22: Sichtbarkeit der EarlyDike-Metadaten im Geoportal der GDI-DE (<http://www.geoportal.de>).

Zum Erfassen der Metadaten in EarlyDike dient NOKIS, das von der BAW gehostet wird. Grundlage für das Metadatenprofil und die in ihm dokumentierten Informationen bildet der verpflichtende Kerndatensatz (mandatory, recommended core) von ca. 40 Elementen des ISO Standards 19115 „Geographic Information – Metadata – Part 1: Fundamentals“. Das für marine Geodaten daraus abgeleitete Küstenzonen-Profil garantiert die Erfüllung von Europäischen und nationalen Anforderungen von INSPIRE, GDI-DE und GovData und sichert damit die Sichtbarkeit der Daten in den unterschiedlichen Zielsystemen.

5.3.1 Schlüsselwörter

Der Metadatenstandard ISO19115 sieht in der Basisinformation zur eindeutigen Beschreibung einer Ressource eine kurze, beschreibende Zusammenfassung (abstract) des Inhalts einer Ressource, Schlüsselwörter (descriptiveKeywords) mit Quellenangabe, und die Angabe einer Thematik (topicCategory) zur thematischen Einordnung des Datenbestands vor. Die in Klammern stehenden Begriffe sind die englischen Namen der betreffenden Metadatenelemente im ISO19115 (Koordinierungsstelle GDI-DE 2008).

Zur Systematisierung werden die freien Schlüsselwörter (keyword) in Schlüsselwort-Typen (type) inhaltlich verwandter Sachgebiete (Disziplin, Ebene, Ort, Parameter, Zeitraum, Thema) eingeteilt. Weiterhin wird der Name eines formell registrierten Wortschatzes (ThesaurusName) oder einer ähnlich verbindlichen Quelle von Schlüsselwörtern angegeben, die den verwendeten Schlüsselwortbegriff definiert.

Um eine thematische Klassifizierungen zur Gruppierung von geografischen Datensätzen und zur Suche nach vorhandenen Datensätzen zu ermöglichen, muss ein Datensatz einer von 19 Themenkategorien aus einer vom ISO vorgegebenen Tabelle (MD_TopicCategoryCode) verpflichtend zugeordnet werden. Nur wenn dieses Pflichtfeld belegt ist, wird der Metadatensatz beim Harvesting z. B. durch die GDI-DE als „gültig“ erkannt.

Für Datensätze, die im Geoportal von INSPIRE angezeigt werden sollen, ist die Angabe einer ISO-Thematik (topicCategory) gemäß einer Zuordnungstabelle vom Arbeitskreis Metadaten (AK Metadaten 2016) erforderlich. Weiterhin muss ein Schlüsselwort aus den 34 INSPIRE Annexthemen benutzt und auf den GEneralMultilingual Environmental Thesaurus (GEMET) als verbindliches Vokabular verwiesen werden (INSPIRE 2007). Zusätzlich muss nach den Konventionen zu Metadaten der Geodateninfrastruktur Deutschland (GDI-DE) der Eintrag „inspireidentifiziert“ in das Feld keyword ohne Angabe von Typ und Thesaurus erfolgen.

Im Kontext von govData für offene Verwaltungsdaten wurde 2018 der Metadatenstandard DCAT-AP.de festgelegt, der ebenfalls verbindliche Vokabulare in Form von Auswahllisten definiert.

Wenn alle Daten und Dienste aus dem Verbundprojekt EarlyDike in ihren Metadaten unter Nutzung des Schlüsselwort-Types „Thema“ das Schlüsselwort „EarlyDike“ eingetragen haben, können bei einer Suchabfragen sämtliche zu diesem Projekt dokumentierten Ressourcen gefunden werden.

Schlüsselwörter aus kontrolliertem Vokabular ermöglichen eine Ordnungsstruktur mit gezielter Filterung über Metadatenelemente in den Trefferlisten, die durch eine Volltextindexierung von Titel (title), Kurzbeschreibung (abstract) oder anderen Freitextelementen nicht möglich ist. Schlüsselwörter dienen im Verbund von verteilten Metadaten-Informations-Systemen auch zur Steuerung der Durchgängigkeit von Informationen in hierarchischen Systemen wie die in Abbildung 21.

Die in Abbildung 22 dargestellte Trefferliste einer Anfrage im Geoportal der GDI-DE zeigt an, dass die gefundenen Ressourcen mit Metadaten versehen sind, die die Kriterien von INSPIRE erfüllen. Diese Ressourcen sind daher auch im Geoportal von INSPIRE sichtbar. Die Abbildung 23 verdeutlicht diesen Sachverhalt.

5.3.2 Räumlicher Bezug

Der räumliche Bezug einer Ressource wird durch den Schlüsselwort-Type (type) „Ort“ mit dem Eintrag eines geographischen Namens als Schlüsselwort hergestellt. Auch hier wird der Name eines formell registrierten Wortschatzes oder einer ähnlich verbindlichen Quelle von Schlüsselwörtern (ThesaurusName) angegeben. Für die deutschen Küstengewässer kann dazu der Küsten-Gazetteer (Kohlus et al. 2014), der im Rahmen der MDI-DE in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) und dem Bundesamt für Seeschiffahrt und Hydrographie (BSH) bereitgestellt wird, verwendet werden.

Im Küsten-Gazetteer werden den geographischen Namen Koordinaten von Bounding-Boxen bzw. BoundingPolygone zugeordnet. Im Metadatenelement Geographische Ausdehnung (geographicElement) wird der geographische Name als Geografischer Identifikator (geographicIdentifier) zusammen mit Koordinatenpaaren, die das Begrenzungspolygon beschreiben (polygon), eingetragen.

In der Regel stellen die Kartenviewer von Geoportalen diese Begrenzungspolygone dar. Die Abbildung 23 zeigt die Bounding Box der Deutschen Bucht im Kartenviewer des INSPIRE Geoportals für eine EarlyDike Ressource.

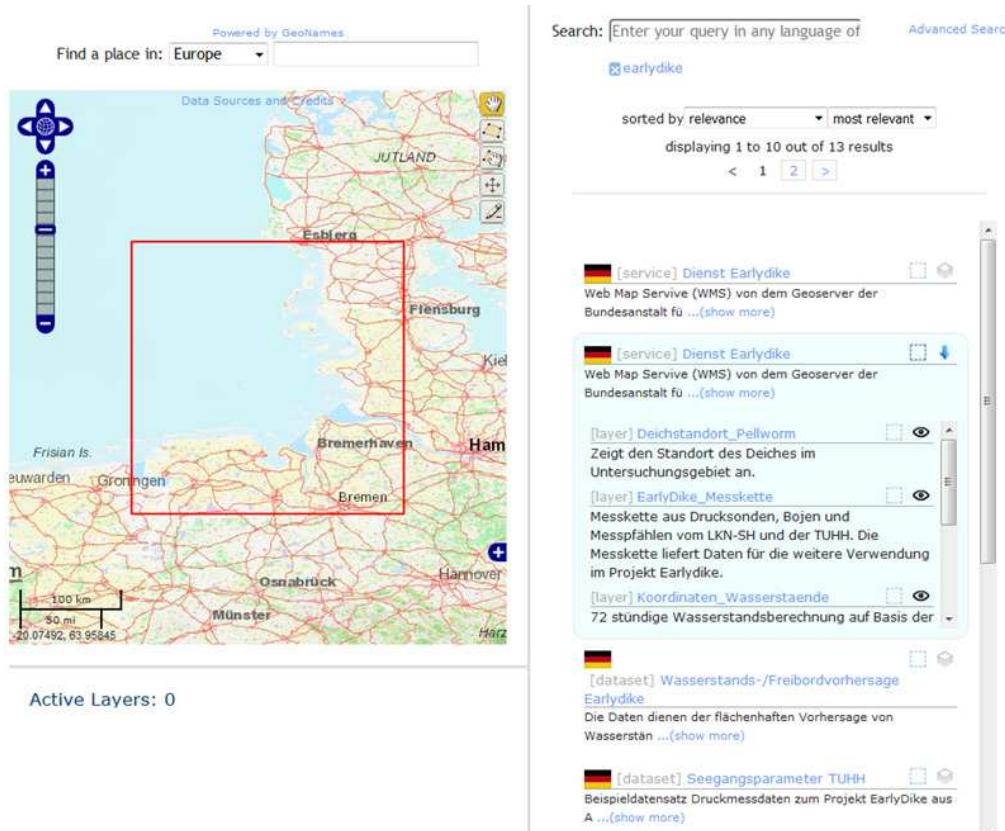


Abbildung 23: Sichtbarkeit der EarlyDike-Metadaten im INSPIRE Geoportal (<http://inspire-geoportal.ec.europa.eu>).

5.3.3 Datenqualität

Zum Nachweis der Datenqualität wird im ISO19115 die Herkunft (lineage) der Daten entweder durch eine allgemeine Erläuterung (statement), eine Information über die Bearbeitungsschritte (processStep) oder die Nennung von Datenquellen (source) in den Metadaten erfasst. Die Notwendigkeit einzelner Bearbeitungsschritte kann im Element Veranlassung (rationale) als Freitext beschrieben werden.

Mit diesen Angaben können sowohl Feldmessungen als auch numerische Modelluntersuchungen detailliert dokumentiert werden. Für Simulationsrechnungen wird zur Qualitätssicherung das angewandte Modellverfahren zusammen mit den verwendeten Dateien der Eingangs- und Steuergrößen eingetragen. Jedes Untersuchungsszenario ist damit eindeutig charakterisiert.

Der ISO19115 bietet die Möglichkeit, eine Vorschaugraphik (MD_BrowseGraphic) zur Darstellung der Ressource in die Metadaten einzubinden. In den Geoportalen der GDI-DE (vergl. Abbildung 22) und der MDI-DE werden diese in den Trefferlisten als Thumbnails angezeigt. Insbesondere bei Zeitreihen bieten diese Graphiken eine schnelle visuelle Orientierungshilfe.

5.4 Qualitätssicherung von Metadaten

Um sicherzustellen, dass die Daten- und Dienst-Metadatensätze die Richtlinien der GDI-DE und INSPIRE erfüllen, werden sie in der GDI-DE Testsuite (<https://testsuite.gdi-de.org/gdi/>) auf Inkompatibilitäten zu den Durchführungsbestimmungen (Böhme et al. 2015) geprüft.

Das Testmanagementsystem kann einzelne Metadatensätze als XML Dateien einladen oder über eine GetRecordsByID-Abfrage direkt auf das verwendete Metadaten-Informations-System verlinken. Es stehen mehrere Test- und Konformitätsklassen zur Verfügung.

Für die EarlyDike Metadaten zu den Daten aus dem Projekt kommt dabei die Testklasse „Konvention der GDI-DE für INSPIRE-relevante Metadaten“ zum Einsatz. Als Konformitätsklassen werden sowohl die erforderlichen Klassen „Metadata: INSPIRE Requirements (Anforderungen an Metadaten gemäß Verordnung (EG) Nr. 1205/2008 zur Durchführung der INSPIRE-Richtlinie hinsichtlich Metadaten)“ und „Metadaten: ISO-Schemavalidierung (Schemavalidierung gegen apiso)“ als auch die optionalen Klassen „Metadaten: GDI-DE Allgemein (Anforderungen gemäß Konventionendokument (Version 1.1.1), die nicht INSPIRE- oder OpenData-spezifisch sind)“, „Metadaten: GDI-DE (INSPIRE-Relevanz) (GDI-DE spezifische Anforderungen gemäß Konventionendokument (Version 1.1.1) für INSPIRE-relevante Metadaten)“ und „Metadaten: GDI-DE OpenData (GDI-DE spezifische Anforderungen gemäß Konventionendokument (Version 1.1.1) für Open-Data Metadaten)“ verwendet (GDI-DE 2018). Nachdem der Test durchgelaufen ist, erfolgt je nach Ergebnis ein detaillierter Fehlerbericht oder eine „Metadaten sind fehlerfrei“ Meldung.

5.5 Zielsysteme von Metadaten

Die Geodateninfrastrukturen, in denen Informationen von EarlyDike publiziert werden sollen, sind in der Abbildung 21 dargestellt. Jede Hierarchiestufe dieser vernetzten Infrastruktur aus nationalen und internationalen Fach- und Übersichts-Portalen bietet einen eigenen Index zum Suchen nach Informationen an. Die dazu notwendigen Metadaten werden im Rahmen von Vereinbarungen zum Harvesten über Katalogschnittstellen abgerufen.

Das INSPIRE-Portal der Europäischen Geodaten Infrastruktur harvestet derzeit zweiwöchentlich die Metadaten aller Mitgliedsstaaten und präsentiert sie in der in Abbildung 23 dargestellten Form. Die Geodateninfrastruktur Deutschland GDI-DE ist die alleinige Quelle von deutschen Metadaten, die bei INSPIRE sichtbar sind, nachdem sie die Testsuite erfolgreich durchlaufen haben.

Auf nationaler Ebene ist die MDI-DE als marines Fachportal bei der GDI-DE registriert und wird derzeit wöchentlich über eine vereinbarte CSW Katalogschnittstelle geharvestet. Einzelne MDI-DE Infrastruktursturknoten mit besonderen Diensten, wie z. B. der Küsten-Gazetteer bei der BAW, sind ebenfalls registriert. Unter der Voraussetzung, dass

die Metadatensätze alle Pflichteinträge des ISO19115 Standards enthalten, sind sie im Geoportal der GDI-DE sichtbar. Metadaten zum EarlyDike-Geoportal werden täglich von der MDI-DE geharvestet.

5.6 Themeneinstieg EarlyDike im MDI-DE Fachportal

Sobald Daten und Dienste über Metadaten in einem Geoportal gefunden werden, können Visualisierungen mit WMS und Download mit WFS in der jeweiligen Portal-Umgebung genutzt werden. In der MDI-DE sind zusätzlich Themeneinstiege durch verlinkte Webseiten realisiert, die Hintergrundinformationen zu einzelnen Themen liefern, die nicht als Web-Dienste sondern als illustrierte Textbeiträge mit Links zu weiterführenden Online-Quellen aufbereitet sind.

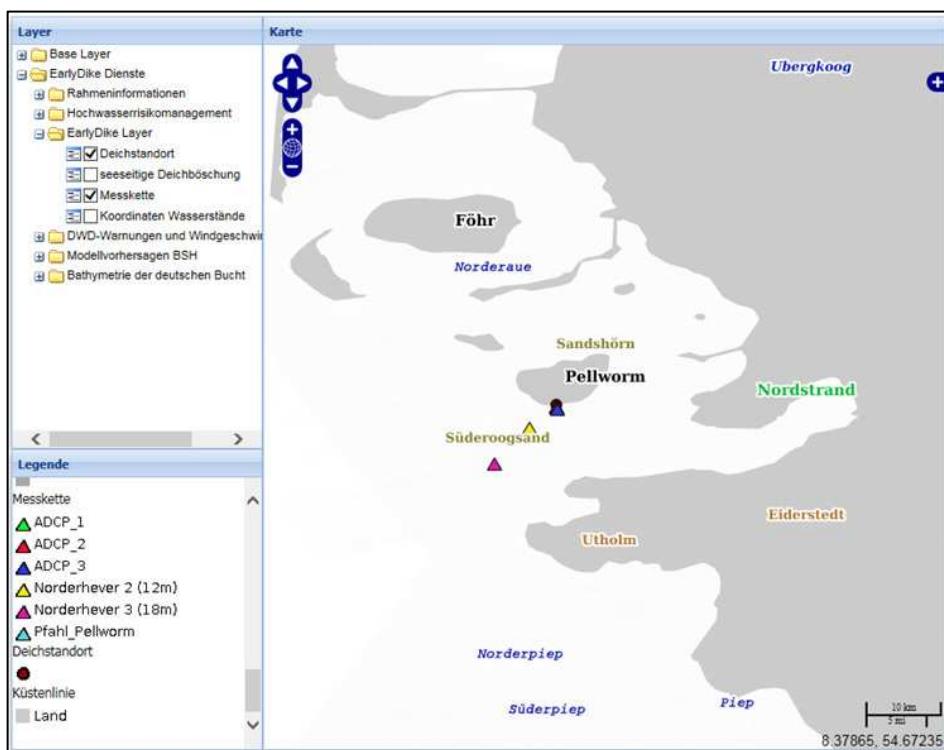


Abbildung 24: EarlyDike Themeneinstieg bei der MDI-DE (<http://mdi-de.baw.de/earlydike/>).

Im Kartenviewer des Themeneinstiegs EarlyDike sind exemplarisch die vorhandenen Dienste von Niedersachsen und Mecklenburg-Vorpommern zum Hochwasserrisikomanagement und zur Hochwasserrahmenrichtlinie sowie der Küsten-Gazetteer eingebunden. Diese Layer können zusammen mit den Vorhersageergebnissen aus dem Projekt angezeigt werden. Jeder Themeneinstieg wird durch eine Auswahl fachspezifischer Dienste für charakteristische Daten unterstützt.

Zu jedem Layer aus dem Projekt wurde eine GetRecords-Abfrage mit individueller Metadaten-UUID im Geoserver, der bei der BAW die Visualisierung der Projektdaten realisiert, gespeichert, sodass jeder Layer bei Bedarf auf seine eigenen Metadaten Zugriff hat. Diese Funktionalität wird in Geoportalen wie dem geoportal.de der GDI-DE ausgenutzt. Im Layertree gibt es dafür eine eigene Schaltfläche (vgl. Abbildung 24), mit der die Metadaten jedes einzelnen Layers angezeigt werden können.

Somit ist der Weg von der Datenbank- bzw. Geoportal-Ebene (Backend) über das MDI-DE Portal (Frontend) nicht nur für Nutzer der MDI-DE erfolgreich aufgebaut worden, sondern steht über die GDI-DE und INSPIRE allen fachlichen Anwendern zur Verfügung.

6 Fazit

Eine effiziente, echtzeitfähige Überwachung von Deichen bedarf Daten unterschiedlicher Quellen. Neben den durch Sensoren vor Ort erfassten Daten sind dies auch von Dritten bereitgestellte Daten. Ebenso fallen regelmäßig Simulationsergebnisse durch die verschiedenen Simulatoren an. Sie alle müssen in einer geeigneten Sensor- und Geodateninfrastruktur (SSDI) möglichst aktuell und zu mindestens partiell in Echtzeit zusammengeführt und in einem geeigneten webbasierten Geoportal den Nutzenden zur Verfügung gestellt werden.

Die beschriebene SSDI realisiert eine solche geeignete Infrastruktur mit dem notwendigen hohen Maß an Skalierbarkeit und Interoperabilität. Für die Gewährleistung von Interoperabilität beim Datenaustausch werden Standards, z. B. Geodatenstandards des OGC, verwendet. Die Skalierbarkeit und Echtzeitfähigkeit, z. B. bei der Übermittlung der Sensordaten, kann durch Verwendung neuartiger push-basierter Protokolle des IoT gewährleistet werden; mit der Eigenentwicklung GeoMQTT ist dabei auch eine zeitliche und/oder räumliche Filterung möglich.

Anhand des Projekts EarlyDike zeigt der Beitrag das Zusammenspiel aller Komponenten einer Online-Geomonitoring- und Simulationsanwendung, von der Erfassung durch neue Sensoren in Sensornetzwerken bzw. Datengenerierung in verschiedenen Simulationen über die Echtzeitkommunikation mit neuen Benachrichtigungsmechanismen bis zur Speicherung der Sensordaten in einer entsprechenden serviceorientierten Architektur (SOA) und der browserbasierten Datenvisualisierung und -bereitstellung in Echtzeit.

Schließlich erfolgt mit dem Erfassen von projektbezogenen Metadaten und dem Erstellen eines Präsentationsgeoportals die Einbindung in die marine Geodateninfrastruktur und die nationale (MDI-DE, GDI-DE) und internationale Geodateninfrastrukturen (INSPIRE).

Die SSDI wurde an Versuchsdeichen unterschiedlicher Größen und Simulationen der Wasserstands- und Wellenauflaufprognosen auf unterschiedlichen Testdaten inkl. von Sturmfluten der im Projekt EarlyDike beteiligten Partner getestet. Wünschenswert wäre eine Fortführung an realen Deichen mit kontinuierlichen Messungen und Simulationen, um die Skalierbarkeit und Einsatzfähigkeit der SSDI weiter zu verbessern.

7 Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei den Projektpartnern im Verbundprojekt EarlyDike sowie für die Förderung des Forschungsvorhabens durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Programms Geotechnologien (Förderkennzeichen: 03G0847A, 03G0848A).

8 Literaturverzeichnis

- 52°North: <http://52north.org>, zuletzt geprüft am 29.10.2018.
- Ajax: <http://www.openajax.org/index.php>, zuletzt geprüft am 29.10.2018.
- Akyildiz, I. F.; Vuran, M. C.: Wireless Sensor Networks. John Wiley, West Sussex, UK, 2010.
- Allen, J. F.: Maintaining knowledge about temporal intervals. In: Communications of ACM, 832–843, 1983.
- Arduino: <https://www.arduino.cc/>, zuletzt geprüft am 29.10.2018.
- Becker, R.; Blankenbach, J.; Dreier, N.; Fröhle, P.; Gries, T.; Herle, S.; Jensen, J.; Krebs, V.; Lehfeldt, R.; Mulckau, A.; Niehäuser, S.; Quadflieg, T.; Schüttrumpf, H.; Schwab, M.: EarlyDike - Entwicklung eines sensor- und risikobasierten Frühwarnsystems für Seedeiche. Abschlussbericht zum Verbundvorhaben EarlyDike – Teil 1. BMBF-Förderkennzeichen 03G0847A, 03G0847B, 03G0847C, 03G0848A, 2018.
- Benedict, K.: The Open Geospatial Consortium Web Map, Web Feature and Web Coverage Service Standards – an Overview. ESIP Federation Meeting, Mexico, 2005.
- Bernard, L.; Kanellopoulos, I.; Annoni, A.: The European geoportal – one step towards the establishment of a European Spatial Data Infrastructure. In: Computers, environment and urban systems, 29(1), 15–31, 2005.
- Bocher, E.; Neteler, M.: Geospatial Free and Open Source Software in the 21st Century, Dordrecht, 2012.
- Böhme, S.; Hogrebe, D.; Blank, J.: Anwender-Handbuch GDI-DE Testsuite [pdf] CPA Software GmbH/GDI-DE, 2015. https://testsuite.gdi-de.org/gdi/files/Anwender-Handbuch_GDI-DE-Testsuite.pdf, zuletzt geprüft am 07.07.2018.
- Broering, A.; Foerster, T.; Jirka, S.; Priess, C.: Sensor Bus: An Intermediary Layer for Linking Geosensors and the Sensor Web. In: COM.Geo '10 Proceedings of the 1st International Conference and Exhibition on Computing for Geospatial Research and Application, 2010.
- Broering, A.; Stasch, C.; Echterhoff, J.: OGC® Sensor Observation Service Interface Standard, Version 2.0. [OGC 12-006], 2012.
- BMU: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Hg.): Statusbericht zum Aufbau der Geodateninfrastruktur Deutschland. 2016. http://www.geoportal.de/SharedDocs/Downloads/DE/GDI-DE/INSPIRE_Bericht_Mitgliedstaat_DE_2016.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 24.06.2016.
- Craglia, M.; Annoni, A.: INSPIRE: an innovative approach to the development of spatial data infrastructures in Europe. In: Proc. of GSDI World Conference, Santiago, Chile, 2006.
- DataCite: <https://schema.datacite.org>, zuletzt geprüft am 03.12.2021.
- Dreier, N.; Fröhle, P.: Prä-Operationelle Vorhersage von Seegang und Wellenauflauf an Seedeichen in der deutschen Bucht. Abschlussbericht zum Verbundvorhaben EarlyDike – Teil 3, BMBF-Förderkennzeichen 03G0847C: Teilprojekt 2 – Wellenmonitoring und

Wellenbelastungssimulator, Institut für Wasserbau der Technischen Universität Hamburg-Harburg, 2018.

GeoPortal NRW: <https://www.geoportal.nrw.de>, zuletzt geprüft am 29.10.2018.

Geoserver: <http://geoserver.org>, zuletzt geprüft am 29.10.2018.

GDI-BSH: Geodateninfrastruktur des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie. <https://www.bsh.de/DE/DATEN/GeoSeaPortal/geoseaportal.html>, zuletzt geprüft am 29.10.2018.

GDI-DE: Geodateninfrastruktur Deutschland [online]. <http://www.geoportal.de>, zuletzt geprüft am 08.07.2018.

Groot, R.: Geospatial Data Infrastructure: Concepts, Cases, and Good Practice, Oxford, UK, 2003.

Grothe, M.; Kooijman, J. (eds.): Sensor Web Enablement. Netherlands Geodetic Commission, Netherlands, 2008.

GSDI: Global Spatial Data Infrastructure Association: Spatial Data Infrastructure Cookbook 2012 Update. http://gsdiassociation.org/images/publications/cookbooks/SDI_Cookbook_from_Wiki_2012_update.pdf, zuletzt geprüft am 03.12.2021.

Harvey, F.; Iwaniak, A.; Coetzee, S; Cooper A. K.: SDI Past, Present and Future: A Review and Status Assessment. In: Proc. of GSDI 13 World Conference, Quebec, Canada, 2012.

Henry's Bench: Arduino ADS1115 Module Getting Started Tutorial, <http://henrysbench.capnfatz.com/henrys-bench/arduino-voltage-measurements/arduino-ads1115-module-getting-started-tutorial/>, zuletzt geprüft am 29.10.2018.

Herle, S.; Becker, R.; Blankenbach, B.: Smart sensor-based Monitoring geospatial architecture for Dike Monitoring. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 34, 2016.

Herring, J.: OpenGIS ® Implementation Standard for Geographic information - Simple feature access - Part 1: Common architecture, 2011.

Highcharts: <http://www.highcharts.com>, zuletzt geprüft am 29.10.2018.

INSPIRE: Richtlinie 2007/2/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. März 2007 zur Schaffung einer Geodateninfrastruktur in der Europäischen Gemeinschaft (INSPIRE), 2007. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32007L0002:EN:NOT>, zuletzt geprüft am 03.12.2021.

ISO19115-1:2014: Geographic Information – Metadata – Part 1: Fundamentals, 2014.

ISO8601:2004: Representations of dates and times, ISO, 2004.

Jirka, A; Bröring, A.; Stasch, C.: Applying OGC Sensor Web Enablement to Risk Monitoring and Disaster Management. In: Proc. of GSDI 11 World Conference, Rotterdam, Netherlands, 2009.

jQuery: <https://jquery.com>, zuletzt geprüft am 29.10.2018.

Iyengar, S. S.; Brooks, R. R.: Distributed Sensor Networks. CRC Press: Boca Raton, USA, 2012.

Koordinierungsstelle GDI-DE: Deutsche Übersetzung der Metadatenfelder des ISO 19115 Geographic information – Metadata, 2008. https://www.geoportal.de/Shared-Docs/Downloads/DE/GDI-DE/Deutsche_Uebersetzung_der_ISO-Felder.pdf, zuletzt geprüft am 01.02.2019.

Kohlus, J.; Sellerhoff, F.; Vo, T.; Lehfeldt, R.; Roosmann, R.; Alcacer-Labrador, D.: Der Deutsche Küstengazetteer, ein service-basiertes Instrument zur Referenz und Kommunikation von Ortsbezeichnungen. *Die Küste*, 82, 81–96, 2014.

Krebs, V.; Schüttrumpf, H.: Entwicklung eines sensorbasierten Deichmonitorings. Abschlussbericht zum Verbundvorhaben EarlyDike – Teil 4, BMBF-Förderkennzeichen 03G0847A: Teilprojekt 3 – Deichmonitor und Deichsimulator, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der RWTH Aachen University, 2018.

Lehfeldt, R.; Mulckau, A.: Leitfaden zur Anbindung eines Infrastrukturknotens an die MDI-DE. 2017. https://www.mdi-de.org/downloads/MDI-DE_Leitfaden_ISK_2.2.pdf, zuletzt geprüft am 07.03.2018.

Lehfeldt, R.; Melles, J.: Die Marine Dateninfrastruktur Deutschland MDI-DE. In: Traub, K.-P.; Kohlus, J.; Lüllwitz, Th. (Hg.): Geoinformationen für die Küstenzone. Norden Halmstad: Points Verlag (3), 107–116, 2011.

Lehfeldt, R.; Melles, J.: Marine Daten-Infrastruktur Deutschland (MDI-DE). *Die Küste*, 82, 1–23, 2014.

Lehfeldt, R.; Reimers, H.-C.; Kohlus, J.: NOKIS – Nord- und Ostsee Küsten-Informations-System. *Die Küste*, 82, 155–194, 2014.

Libelium: <http://www.libelium.com/>, zuletzt geprüft am 29.10.2018.

Metropolregion Hamburg: <http://geoportal.metropolregion.hamburg.de>, zuletzt geprüft am 29.10.2018.

MQTT: <http://mqtt.org/>, zuletzt geprüft am 29.10.2018.

Niehäuser, S.; Dangendorf, S.; Arns, A.; Jensen, J.: Entwicklung einer Methodik zur Wasserstandsvorhersage entlang der gesamten deutschen Nordseeküste. Abschlussbericht zum Verbundvorhaben EarlyDike – Teil 2, BMBF-Förderkennzeichen 03G0847B: Teilprojekt 1 – Sturmflutmonitor und Sturmflutsimulator, Forschungsinstitut Wasser und Umwelt (fwu), Universität Siegen, 2018.

NOKIS: Nord-Ostsee-Küsten-Informations-System.

<http://projekt.mdi-de.org/services/nokis.html>, zuletzt geprüft am 29.10.2018.

OASIS: MQTT Version 3.1.1 OASIS Standard, 2014.

OGC: <http://www.opengeospatial.org/standards>, zuletzt geprüft am 29.10.2018.

OGC-SOS: <http://www.opengeospatial.org/standards/sos>, zuletzt geprüft am 29.10.2018.

OGC-SWE: <http://www.opengeospatial.org/ogc/markets-technologies/swe>, zuletzt geprüft am 29.10.2018.

OGC-WMS: <http://www.opengeospatial.org/standards/wms>, zuletzt geprüft am 29.10.2018.

OGC-WFS: <http://www.opengeospatial.org/standards/wfs>, zuletzt geprüft am 29.10.2018.

Onsrud, H.; Kuhn, W. (eds.): Advancing Geographic Information Science: The Past and Next Twenty Years. GSDI Association Press. 2016.

OpenLayers: <http://openlayers.org/>, zuletzt geprüft am 29.10.2018.

Pengel, B. et al.: Flood Early Warning System: Sensors and Internet. In: IAHS Red Book N 357, Floods: From Risk to Opportunity. IAHS Publ. 357, 445–453, 2013.

PostgreSQL: <http://www.postgresql.org/>, zuletzt geprüft am 29.10.2018.

Rüh, C.; Bill, R.: Concepts, Models and Implementation of the Marine Spatial Data Infrastructure in Germany (MDI-DE). In: Proc. of ISPRS Congress, Sydney, Australia, 2012.

Schaap, D.: European Directory of Marine Environmental Research projects (EDMERP). A key resource of the SEA-SEARCH network, 2000. <http://npsc.ogs.trieste.it/documents/EDMERP1.doc>, zuletzt geprüft am 10.12.2014.

Schwab, M.; Quadflieg, T.; Gries, T.: Intelligente Geotextilien für das Echtzeit-Deichmonitoring. Abschlussbericht zum Verbundvorhaben EarlyDike – Teil 5, BMBF-Förderkennzeichen 03G0847A: Teilprojekt 3 – Deichmonitor und Deichsimulator, Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen University, 2018.

Senat Berlin: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen Berlin, <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/geoinformation>, zuletzt geprüft am 29.10.2018.

Spies, K.-H.; Heier, C.: Sensor Web Enablement in der Wasserwirtschaft – Von der Hydrologie über das Monitoring zum Management. In: Schilcher (Hg.): Geoinformationssysteme: Beiträge zum 15. Münchener Fortbildungsseminar. Heidelberg, 114–123, 2010.

Stanford-Clark, A.; Truong, H. L.: MQTT for Sensor Networks (MQTT-SN) Protocol Specification Version 1.2, IBM Zurich Res. Lab., 2013.

TopPlusOpen: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, http://www.geodatenzentrum.de/geodaten/gdz_rahmen.gdz_div?gdz_spr=deu&gdz_akt_zeile=4&gdz_anz_zeile=4&gdz_user_id=0, zuletzt geprüft am 29.10.2018.

Vilain, M. B.: A system for reasoning about time. In: AAAI'82 Proceedings of the Second AAAI Conference on Artificial Intelligence, 197–201, 1982.

Walter, K.; Nash, E.: Coupling Wireless Sensor Networks and the Sensor Observation Service – Bridging the Interoperability Gap. In: Proc. of 12th AGILE International Conference on Geographic Information Science, Hannover, Germany, 2009.

WebAtlasDE: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, http://www.geodatenzentrum.de/geodaten/gdz_rahmen.gdz_div?gdz_spr=deu&gdz_akt_zeile=4&gdz_anz_zeile=4&gdz_user_id=0, zuletzt geprüft am 29.10.2018.