

Semantische Integration von Daten zur Beurteilung der Sicherheitslage

Philipp HERTWECK

Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB

Für Entscheidungsträger ist ein Modell der aktuellen Sicherheitslage, das sämtliche zur Verfügung stehende Informationen integriert und aufbereitet, von großer Bedeutung, um kritische Situationen frühzeitig zu erkennen und bewältigen zu können. Insbesondere muss Verbreitung, Ausmaß und Auswirkung des Ereignisses beurteilt werden können. Aufgrund der Vielzahl und Vielfalt aktuell zur Verfügung stehender Informationen, ist eine technische Unterstützung in diesem Kontext unabdingbar. Dieser Beitrag gibt einen Überblick über aktuelle technologische Entwicklungen im Bereich von Entscheidungsunterstützungssystemen für Krisensituationen, stellt mögliche Umsetzungen von Modulen eines solchen Systems vor und zeigt offene Fragen und weitere Entwicklungsmöglichkeiten auf. Nachfolgend werden vorhandene Informationsquellen, deren Integration durch semantische Webtechnologien und Auswertemöglichkeiten aufgezeigt.

1. Einleitung

Im Fall einer Krisensituation ist es von entscheidender Bedeutung, dass die aktuelle Sicherheitslage fortlaufend erfasst, analysiert, ausgewertet und überwacht wird. Dieser kontinuierliche Prozess ermöglicht eine frühzeitige Erkennung potenzieller Gefahren und somit eine adäquate Reaktion, um die Gefahr selbst abzuwenden oder die Folgen zumindest abmildern zu können.

Die aktuelle Situation kann im Kontext einer Vielzahl unterschiedlicher Ereignisse betrachtet werden, beispielsweise während Großveranstaltungen wie Fußballspielen oder Konzerten, aber auch bei extremen Wetterereignissen die Überflutungen, Waldbränden oder Hitzewellen hervorrufen. Die Häufigkeit und Intensität dieser Naturereignisse nimmt zu (United Nations Office for Disaster Risk Reduction UNISDR, 2015), sodass die Vereinten Nationen dazu aufgerufen haben die weltweite Entwicklung von Frühwarnsystemen voranzutreiben.

Eine fundierte Bewertung der aktuellen Lage ist nur möglich, wenn bekannt ist, was sich in der Vergangenheit ereignet hat, was aktuell passiert und was in Zukunft eintreten wird (*situational awareness*). Hierfür werden zuverlässige und vertrauenswürdige Informationen in (nahezu) Echtzeit benötigt. Diese liegen je-

doch häufig nicht in der benötigten Qualität und Aktualität vor. Um dieser Herausforderung zu begegnen, wird auf eine Vielzahl unterschiedlicher Quellen zurückgegriffen. Die in einer Krisensituation Verantwortlichen sind einer nicht zu beherrschenden Informationsflut ausgesetzt. Deshalb müssen Daten aufbereitet und Informationen extrahiert werden, um dem Entscheider die notwendigen Informationen zu liefern (Netten & van Someren, 2011). Aufgrund der Datenvielzahl und -vielfalt ist eine technische Unterstützung unabdingbar. Ein Entscheidungsunterstützungssystem (*decision support system*, DSS) empfängt, analysiert und visualisiert relevante Informationen, um Entscheidungsträger bei ihrer komplexen Aufgabe zu unterstützen.

Entscheider können, basierend auf diesen Informationen, weitere Schritte planen und koordinieren. Dies ist die Voraussetzung um Rettungskräfte gezielt und koordiniert einsetzen zu können und das adäquate Handeln der Bevölkerung anzuleiten. Dadurch sollen größere Schäden verhindert werden.

Den Kontext dieses Beitrags liefert das von der EU geförderte Projekt beAWARE (Enhancing decision support and management services in extreme weather climate events)¹. Ziel dieses Projektes ist es, ein Entscheidungsunterstützungssystem zu entwerfen und prototypisch zu entwickeln, das alle Phasen eines extremen Wetterereignisses, von der Vorhersage über Frühwarnung bis hin zur Bewältigung der Situation unterstützt. Im Folgenden liegt somit der Schwerpunkt auf Entscheidungsunterstützungssystemen für das Krisenmanagement von extremen Wetterereignissen.

Dieser Beitrag zeigt in Abschnitt 2 die aktuelle Entwicklung von Entscheidungsunterstützungssystemen auf. Anschließend werden vorhandene Informationsquellen (Abschnitt 3), insbesondere Crowdsourcing (Abschnitt 4), vorgestellt. Abschnitt 5 beschreibt semantische Webtechnologien, welche die Grundlage einer Datenintegration bilden können. Ein konkretes semantisches Modell wird in Abschnitt 6 vorgestellt. Abschnitt 7 zeigt, wie ein semantisches Modell ausgewertet und zur Beurteilung der aktuellen Sicherheitslage herangezogen werden kann. Abschließend werden weitergehende Forschungsfragen thematisiert. Neben der Darstellung aktueller Entwicklungen werden an den entsprechenden Stellen die Herausforderungen und offene Fragen thematisiert.

¹ <http://beaware-project.eu> [Zugriff: 31.10.2018]

2. Entscheidungsunterstützungssysteme

Bereits in den 80er Jahren wurden Computersysteme als Unterstützung für Entscheidungsträger erkannt. Sprague (1980) definiert ein Entscheidungsunterstützungssystem als interaktives, computerbasiertes System, das mit Hilfe von Daten und Modellen Entscheidungsträger unterstützt, um unstrukturierte Probleme zu lösen. Dazu müssen im ersten Schritt Informationen ermittelt und aufbereitet werden. Darauf aufbauend ist eine Aggregation derselben möglich. Dieses Ergebnis kann Entscheidungsträgern durch eine flexibel anpassbare Darstellung übersichtlich präsentiert werden.

Einen Überblick über Entscheidungsunterstützungssysteme im Kontext von Naturgefahren geben Newman et al. (2017). Sie zeigen, dass aktuelle Systeme dadurch limitiert sind, lediglich einzelne Gefahrensituationen zu betrachten. Ein Ansatz um diese Einschränkung zu umgehen und die Flexibilität zu steigern ist der Einsatz semantischer Technologien, welcher auch in diesem Beitrag weiterverfolgt wird. Beispielsweise beschreibt Moßgraber (2017) den Einsatz eines semantischen Katalogs im Kontext von Frühwarnsystemen.

Durch kontinuierliche Fortschritte in der Hardware- und Softwareentwicklung nimmt auch die vorhandene Rechenkapazität in Entscheidungsunterstützungssystemen zu. Fang et al. (2014) greifen die zunehmende Verbreitung von *Internet of Things*-Geräten (IoT) auf und zeigen deren Einsatz in einem Entscheidungsunterstützungssystem für Umweltüberwachung.

In Kombination mit der Weiterentwicklung von Algorithmen können immer mehr Daten integriert werden. Neben der Aggregation und deren Darstellung, können zudem auch komplexere Analysen stattfinden. Automatische Bild- und Videoauswertungen, wie sie bereits in anderen Kontexten intensiv eingesetzt werden, können ebenfalls in ein Entscheidungsunterstützungssystem eingebunden werden. Zusammen mit Vorhersagen sowie Simulationen erweitern sie die den Entscheidungsträgern zur Verfügung stehenden Möglichkeiten.

Betrachtet man die Architektur eines Entscheidungsunterstützungssystems, kann zwischen zwei Vorgehensweisen unterschieden werden. Zum einen ist eine vertikale Aufteilung entlang von Funktionsblöcken möglich. Beispielsweise schlagen Di Pietro et al. (2016) fünf Elemente, darunter Beobachtung von Naturphänomenen, Vorhersage von natürlichen Ereignissen oder Vorhersage von Schadensszenarien vor. Alternativ ist eine horizontale Zerlegung möglich. Hierbei werden die einzelnen Schichten bzw. Schritte betrachtet, die ausgehend von den

Sensoren (Moßgraber, et al., 2018) (bzw. *Perception Layer* (Fang, et al., 2014)), über Aggregation und Integration (*Middleware Layer*) bis hin zur Entscheidungsunterstützung (*Application Layer*) ein Entscheidungsunterstützungssystem bilden. Moßgraber et al. (2018) bezeichnen die Aneinanderreihung dieser Schritte, beziehungsweise Schichten als *Sensor to decision chain*. Diese Kette von Verarbeitungsschritten ist in Abbildung 1 visualisiert. Im Folgenden sollen diese Schritte als Grundlage dienen, um mögliche Umsetzungen vorzustellen und um aktuelle Herausforderungen aufzuzeigen.

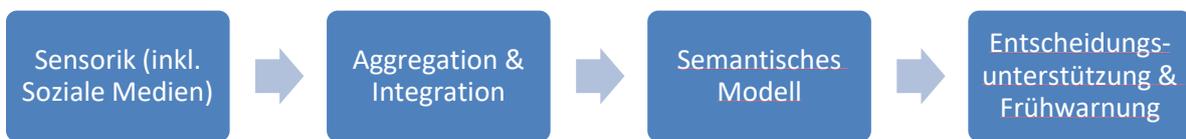


Abbildung 1 Verarbeitungskette in einem Entscheidungsunterstützungssystem (aus (Moßgraber, et al., 2018))

3. Informationsquellen

Ein Modell der aktuellen Sicherheitslage kann nur erstellt werden, wenn Informationen der momentanen Situation zur Verfügung stehen und aufgearbeitet werden. Hierfür können eine Vielzahl von Quellen herangezogen werden. Beispielsweise können statische Sensoren wie Wetterstationen, Flusspegelmessstellen, aber auch Videokameras vor Ort installiert werden und das betroffene Gebiet überwachen. Im Allgemeinen sind deren Daten kontinuierlich oder in regelmäßigen Abständen verfügbar. Da diese Sensoren zielgerichtet angebracht und gewartet werden, liefern sie zuverlässige Daten für das überwachte Gebiet und die beobachteten physikalischen Phänomene. Die Verfügbarkeit dieser Sensoren ist jedoch beschränkt, da sie teuer in Anschaffung, Betrieb und Wartung sind. Nachteilig ist ebenfalls ihr fester Standort, der das überwachbare Gebiet einschränkt. Eine Ausdehnung auf das von der Krise betroffene Areal ist nicht ohne weiteres möglich. Häufig ist es auch, in Erwartung eines Ereignisses, nicht machbar zusätzliche Sensoren im betroffenen Gebiet auszubringen, da zum einen die verbleibende Zeit nicht ausreichend ist und zum anderen die benötigte Infrastruktur nicht vorhanden ist.

Semantische Integration von Daten zur Beurteilung der Sicherheitslage

Das in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnene Internet der Dinge (*Internet of Things*, IoT) führt dazu, dass Sensoren einfacher angebunden und integriert werden können. Somit stehen deren Messwerte deutlich häufiger und schneller zur Verfügung. Um eine Interoperabilität sicherstellen zu können, sind standardisierte Schnittstellen notwendig. Ein Standard wurde vom Open Geospatial Consortium (OGC) vorangetrieben und veröffentlicht. Dieser erlaubt die Verwaltung zeitreihenbasierter Sensordaten, sowie deren Metadaten (Liang, Huang, & Khalafbeigi, 2016). Mit Hilfe dieser Metadaten kann die Bedeutung von Sensoren und ihrer Messwerte beschrieben werden. Beispielsweise erlaubt der Standard die Einheit einer gemessenen Größe zu definieren, um Fehlinterpretationen zu verhindern. Neben einem zugrundeliegenden Datenmodell (vgl. Abbildung 2) wurde eine Schnittstelle (*SensorThings API*) spezifiziert. Diese orientiert sich an dem im Web gebräuchlichen Representational State Transfer (*REST*) Programmierparadigma (Fielding & Taylor, 2002), welches einen einfachen Zugriff aus unterschiedlichen Anwendungen und Programmiersprachen ermöglicht. Durch Integration von Selektions- und Filtermöglichkeiten aus dem OASIS *Open Data Protocol* (OData) (Pizzo, Handl, & Zurmuehl, 2014), besteht die Möglichkeit gezielt nach Daten zu suchen und diese abzufragen. Nachfolgende Beispielanfrage zeigt, wie die ersten tausend Messwerte für das Jahr 2018 abgerufen werden können:

```
/SensorThingsService/v1.0/Datastreams(167)/  
Observations?$top=1000&  
$orderby=phenomenonTime asc&  
$select=phenomenonTime,result,parameters&  
$filter=overlaps(phenomenonTime,2018-01-  
01T00:00:00.000Z/2018-12-31T23:59:59.000Z)
```

Der SensorThings API-Standard ist somit gut geeignet, um Sensoren und deren Messwerte in ein Entscheidungsunterstützungssystem zu integrieren.

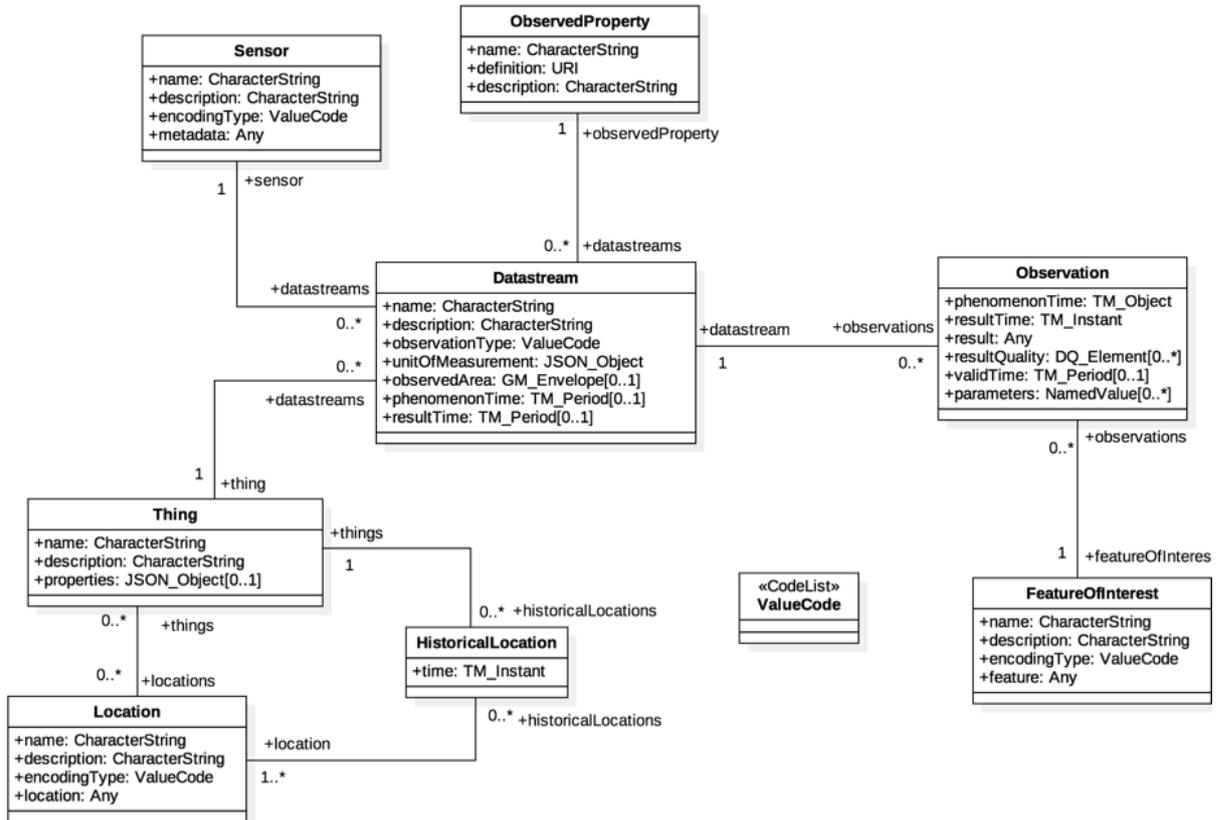


Abbildung 2 Datenmodell des SensorThings API-Standards (Liang, Huang, & Khalafbeigi, 2016)

Eine weitere Informationsquelle sind Berichte aus der Bevölkerung, wie sie beispielsweise in sozialen Medien veröffentlicht werden. Während das Erheben von Nachrichten aus sozialen Netzwerken technisch vergleichsweise einfach ist, ist eine automatisierte Auswertung derselben nicht trivial. Der Inhalt einer natürlichsprachigen Nachricht muss analysiert und interpretiert werden. Dies wird durch Mehrdeutigkeiten von Wörtern und Aussagen erschwert, was zu einer geringeren Zuverlässigkeit und Qualität der extrahierten Information führt.

Eine weitere Möglichkeit die Bevölkerung mit einzubeziehen besteht durch den Einsatz einer mobilen Anwendung (*mobile app*). Einerseits können Entschei-

Semantische Integration von Daten zur Beurteilung der Sicherheitslage

Träger die Menschen vor bevorstehenden Ereignissen warnen und Verhaltensempfehlungen aussprechen. Andererseits können Information aus der Bevölkerung über die aktuelle Lage direkt an die Entscheidungsträger gesendet werden. Da mobile Endgeräte, bzw. Smartphones heute sehr verbreitet sind, bieten diese durch die Vielzahl an integrierten Sensoren (Kamera, Mikrofon, GPS-Antenne, usw.) eine weitere wertvolle Informationsquelle. Der nachfolgende Abschnitt 4 soll aufzeigen, welche Entwicklungen in diesem Bereich bereits geschehen sind und zeigt, wie eine solche Anwendung umgesetzt werden kann.

Die genannten Informationsquellen (Sensoren, Soziale Medien und betroffene, bzw. involvierte Personen) decken bei weitem nicht alle Möglichkeiten ab, sodass auch weitere Quellen betrachtet werden müssen. Während extremen Wetterereignissen sind beispielsweise die Wettervorhersagen von entscheidender Bedeutung. Sind Sensoren zur Wasserpegelmessung in einem gefährdeten Gebiet ausgebracht, können diese integriert und in einem nächsten Schritt in einem Wasserstandsvorhersagemodell verwendet werden. Weitere mögliche Quellen sind geografische Daten wie Topografie, Straßennetze und Gebäude. Diese Informationen, aber auch bereits existierende Risikokarten können zur Beurteilung der gesamten Lage herangezogen werden. In aktuellen Ansätzen werden Informationen häufig als Ebene in einer Karte dargestellt. Tiefergehende Integrationen, wie beispielsweise die Verknüpfung mehrerer Kartenebenen sind kaum erforscht. Daher müssen Zusammenhänge, die aus einer Zusammenführung verschiedener Kartenebenen erkennbar sind, häufig manuell durch Anwender des Systems entdeckt und darauf aufbauende Schlussfolgerungen getroffen werden. Zum einen fordert dies das nötige Fachwissen beim Bedienen des Systems. Zum anderen wird die Reaktionszeit limitiert, da im Ernstfall viele Informationen gleichzeitig eintreffen und manuell abgearbeitet werden müssen. Die dadurch gewonnenen Erkenntnisse müssen anschließend für eine automatisierte Weiterverarbeitung aufbereitet werden.

Es zeigt sich schnell, dass durch die Integration weiterer Quellen die Komplexität des gesamten Systems steigt. Insbesondere nimmt das Datenvolumen (*Data-volume*), die Datengeschwindigkeit (*-velocity*) und -vielfalt (*-variety*) mit jeder zusätzlichen Datenquelle zu, sodass auch von *Big Data* gesprochen werden kann (Singh & Singh, 2012). Herausforderungen, die bei der Nutzung unterschiedlicher Datenquellen immer wieder auftreten sind einerseits unterschiedliche Formate und Darstellungen, zusammen mit verschiedenen Datenmodellen. Andererseits sind die Schnittstellen um diese Daten abzufragen ebenfalls sehr verschieden. Diesem Problem könnte theoretisch begegnet werden, indem die Daten aus

unterschiedlichen Quellen harmonisiert und in einem zentralen Datenspeicher abgelegt werden. Dies ist jedoch aus unterschiedlichsten Gründen nicht praktikabel. Beispielsweise steigt der Aufwand Datensätze zu durchsuchen mit deren Größe, sodass ab einer gewissen Datenmenge nur eine dezentrale Verarbeitung effizient ausgeführt werden kann. Ebenfalls ist es wünschenswert, dass kritische Daten, ohne Verzögerung durch einen Import, sofort zur Verfügung stehen. Des Weiteren können diese Daten unterschiedlichste Formate und Strukturen aufweisen. Daten mit einer festen, zuvor bekannten Struktur, können in einer relationalen Datenbank (Maier, 1983) abgelegt werden, wohingegen Daten ohne feste Struktur in einer NoSQL-Datenbank (Han, Haihong, Le, & Du, 2011) persistiert werden. Dies ermöglicht eine effiziente Nutzung unterschiedlicher Eigenschaften der Datenspeicher. Ebenfalls können rechtliche Vorgaben eine zentrale Datenspeicherung verbieten. Beispielsweise kann aufgrund von Urheberrecht oder Datenschutzbestimmungen ein Kopieren untersagt oder unverhältnismäßig aufwändig sein.

Trotz einer verteilten Datenhaltung ist eine enge Verknüpfung und Integration der Daten unabdingbar. Nur durch eine Kombination aller zur Verfügung stehenden Informationen kann eine umfassende Beurteilung stattfinden. Beispielsweise ist für die Risikobewertung einer Überflutung einerseits der aktuelle Pegelstand, die Wettervorhersage und ein eventuell existierendes Wasserstandsvorhersagemodell wichtig. Andererseits sind aber auch Informationen über die umliegende Bebauung und dadurch mögliche Auswirkungen und Schäden entscheidend. Dies setzt sowohl ein einheitliches Verständnis der verwendeten Begrifflichkeiten, als auch eine einheitliche Abfragemöglichkeit über mehrere Quellen hinweg, voraus. Eine Möglichkeit diese Begriffe formal zu definieren und zu verwalten sind Ontologien. In Abschnitt 5 werden semantische Webtechnologien vorgestellt und deren Möglichkeiten aufgezeigt. Anschließend wird in Abschnitt 6 eine beispielhafte Ontologie für das Krisenmanagement bei Naturkatastrophen vorgestellt.

4. Crowdsourcing als weitere Informationsquelle

Involvierte Personen können selbst als Informationsquelle und somit als *menschlicher Sensor* dienen. Eine Möglichkeit ist die Nutzung von sozialen Medien, wie beispielsweise Twitter, im Kontext von Krisenmanagement. Diese wurde in weiterführenden Arbeiten (Terpstra, Vries, Stronkman, & Paradies, 2012) (Imran, Castillo, Diaz, & Vieweg, 2015) bereits untersucht. Bei sozialen Medien muss zusätzlich betrachtet werden, dass durch die Verwendung von Abkürzungen, Hashtags und Emojis Nachrichten in einem anderen Sprachstil veröffentlicht

werden, sodass traditionelle Mechanismen zur Textanalyse und Informationsextraktion nicht ohne zusätzliche Anpassung eingesetzt werden können. Neben der Analyse einzelner Nachrichten, wurde auch das Zusammenfassen ähnlicher Meldungen (*clustering*) untersucht (z.B. (Angaramo & Rossi, 2018)). Diese Clustering-Algorithmen erlauben es Informationen zu erkennen, die in mehreren Nachrichten vorhanden sind und in aggregierter Form den Entscheidungsträgern präsentiert werden können. Eine weitere Herausforderung ist die fehlende Geoinformation von Nachrichten aus sozialen Medien. Im Allgemeinen steht zu solchen Meldungen kein Raumbezug zu Verfügung, sodass mit Hilfe von Textanalysewerkzeugen auf die Position des Senders geschlossen werden muss. Insbesondere im Kontext von Entscheidungsunterstützungssystemen ist es entscheidend, die Lage ortsbezogen zu erfassen und zu beurteilen, da kritische Ereignisse meist auf ein Gebiet beschränkt sind. Aus diesem Grund muss, wenn keine Position als Metainformation einer Nachricht zur Verfügung steht, auf Möglichkeiten der Textanalyse zurückgegriffen werden. Einerseits treten auch hier die bereits erwähnten Herausforderungen bei der Verarbeitung natürlichsprachiger Texte auf. Andererseits ist die Analyse darauf angewiesen, dass im Text der Ort erwähnt wird, beispielsweise durch die Nennung eines bekannten Gebäudes oder Platzes.

Eine weitere Möglichkeit Personen einzubeziehen ist über den Einsatz einer mobilen Anwendung (*mobile app*). Im Gegensatz zu sozialen Medien bietet diese eine direkte Möglichkeit zur Kontaktaufnahme mit den zuständigen Behörden; bei Nachrichten in sozialen Medien ist der Empfänger oft unbekannt. Durch die weite Verbreitung von mobilen Geräten und Mobilfunknetzen, entsteht die Möglichkeit den zuständigen Verantwortlichen lokale Informationen aus der Bevölkerung kostengünstig und gezielt zukommen zu lassen. Durch die Verwendung von bereits in Smartphones eingebauten Sensoren, wie beispielsweise GPS-Empfängern, ist eine Lokalisierung der Meldungen problemlos möglich. Im Gegensatz zu anderen Informationsquellen steht somit eine Möglichkeit der aktiven Teilnahme aus der Bevölkerung, durch in Echtzeit geteilte und geolokalisierte Messwerte, zur Verfügung.

Es existieren bereits mehrere mobile Anwendungen und Plattformen um Berichte aus der Bevölkerung zu erfassen und aufzubereiten. Durch das *I see change*² Projekt, welches unter anderem von der NASA und der NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) unterstützt wird, existiert eine App um Umweltbeobachtungen zu erfassen und Änderungen in Klima und Wetter zu doku-

² <https://www.iseechange.org/> [Zugriff: 31.10.2018]

mentieren. Wetterdienste setzen ebenfalls auf Informationen aus der Bevölkerung. Dem Deutschen Wetterdienst können Unwetter online gemeldet werden³. Das finnische Meteorologische Institut nimmt Wetterbeobachtungen per App entgegen⁴. Als Antwort auf die Gewalt in Kenia nach den Wahlen 2007 wurde mit *Ushahidi*⁵ eine Plattform entwickelt, um solche Vorfälle melden und dokumentieren zu können (Okolloh, 2009). In der Zwischenzeit wurde das System erweitert, um auch im Kontext von anderen Ereignissen Daten sammeln, verwalten und visualisieren zu können. Im RESIBES „Resilienz durch Helfernetzwerke zur Bewältigung von Krisen und Katastrophen“ Projekt⁶ wurde ebenfalls eine Smartphone App entwickelt, mit der Helfer Informationen (z.B. Fotos, Videos) Rettungskräften und Entscheidern zur Verfügung stellen können. Mit dem Studentenprojekt *Mobile4D*⁷ der Universität Bremen wurde eine mobile Anwendung entwickelt, um während einer Krise Berichte zu erfassen und um mit beteiligten Personen in Kontakt zu treten (Frommberger & Schmid, 2013). Einen Schritt weiter geht das *i-REACT* Projekt⁸, das Meldungen aus der Bevölkerung sowie von Einsatzkräften in ein Entscheidungsunterstützungssystem integriert. Auch die Einbeziehung der Bevölkerung sowie die Koordinierung von Rettungskräften wurde in vergangenen Projekten bereits untersucht. Betke (2018) beschreibt eine, im Rahmen des KUBAS-Projektes entwickelte mobile Anwendung zur Koordination von freiwilligen Helfern in einer Krisensituation. All diese Anwendungen legen einen Schwerpunkt darauf, Berichte aus der Bevölkerung entgegennehmen zu können. Eine Integration in ein größeres System, das über eine Anzeige der Berichte hinausgeht, ist in keinem der vorgestellten Projekte angedacht.

In einem nächsten Schritt ist eine automatisierte Auswertung und Analyse der erhobenen Daten notwendig, um eine Informationsüberflutung, insbesondere während eines Krisenereignisses zu vermeiden. Ebenfalls ist ein bilateraler Informationskanal zwischen Behörden und Rettungskräften sowie Behörden und Bevölkerung zu etablieren. Die Bevölkerung soll Warnungen mit Verhaltenshinweisen erhalten, um angemessen auf die Situation reagieren können. Eine effektive Aufgabenverteilung und –überwachung ist für einen koordinierten Einsatz der Rettungskräfte unerlässlich, was wiederum die Folgen des Ereignisses abmildern

³ https://www.dwd.de/DE/wetter/warnungen_aktuell/unwettermeldung/unwettermeldung_start_node.html [Zugriff: 31.10.2018]

⁴ <http://en.ilmatieteenlaitos.fi/smartphones> [Zugriff: 31.10.2018]

⁵ <https://www.ushahidi.com> [Zugriff: 31.10.2018]

⁶ <https://www.resibes.de/pages-technschhwp.html> [Zugriff: 30.04.2019]

⁷ <http://mobile4d.capacitylab.org/> [Zugriff: 31.10.2018]

⁸ <http://www.i-react.eu/> [Zugriff: 31.10.2018]

Semantische Integration von Daten zur Beurteilung der Sicherheitslage

kann. An dieser Stelle knüpft das bereits erwähnte beAWARE Projekt an und bietet die Möglichkeit eine mobile Anwendung im Zusammenhang mit einem größeren Entscheidungsunterstützungssystem zu entwerfen und zu evaluieren.

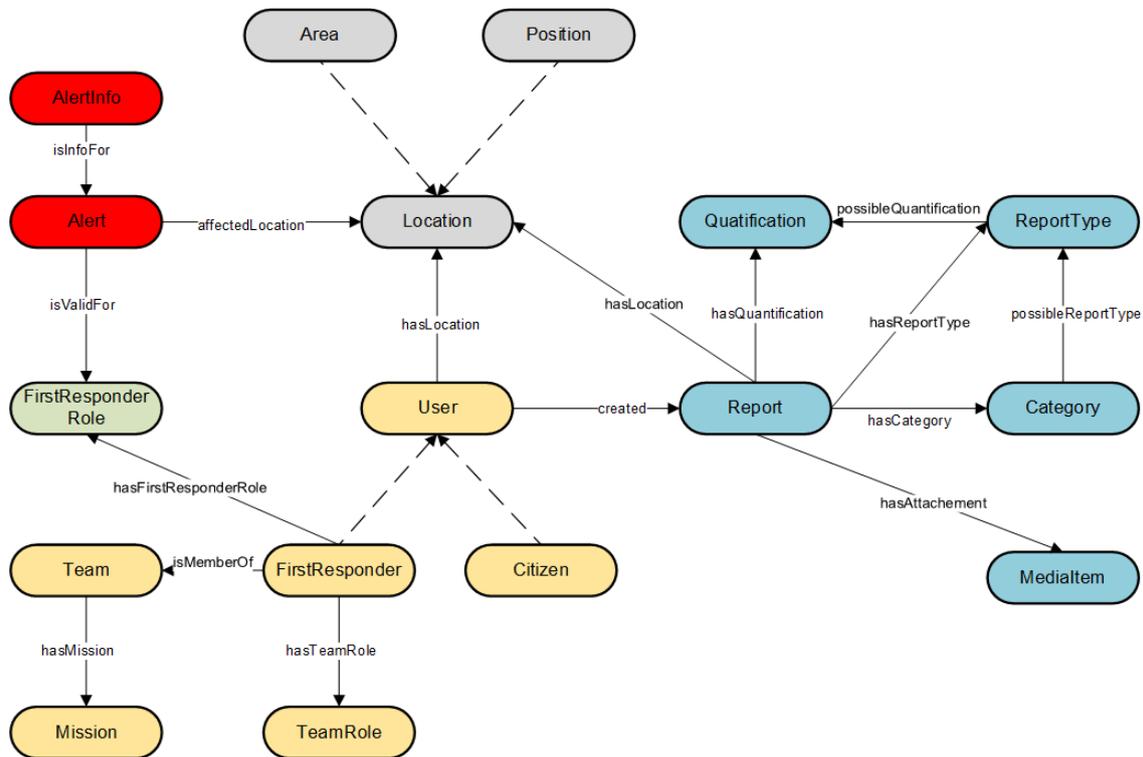


Abbildung 3 Datenmodell der mobilen Anwendung zur Kommunikation zwischen Bevölkerung und Krisenverantwortlichen

Beim Entwurf der Anwendung wurden drei Anwendungsdomänen berücksichtigt: Meldungen aus der Bevölkerung an zuständige Behörden, Warnungen an die Benutzer, sowie Aufgabenverteilung und -verwaltung an Hilfskräfte. Abbildung 3 zeigt das zugrundeliegende Datenmodell, in dem die wichtigsten Konzepte der jeweiligen Domänen farblich getrennt dargestellt sind.

Durch die vorhandenen Sensoren mobiler Geräte können Meldungen aus der Bevölkerung (*Report*) mit Hilfe von Mediendateien (*MediaItem*) angereichert werden. Durch die Möglichkeit Foto-, Video- oder Audioaufnahmen zur Verfügung zu stellen, können Benutzer das für sie am passendsten erscheinende Medium zur Kommunikation wählen. Zusätzlich wurde eine Meldung um weitere Elemente

Philipp HERTWECK

erweitert, um strukturierte Informationen weiterzugeben. Über eine Kategorie (*Category*) und einen Typ (*ReportType*) kann beispielsweise in einem Überflutungsszenario eine Wasserstandsmeldung abgegeben werden, die zusätzlich noch quantifiziert werden kann (beispielsweise Wasserstand 0 - 0,5 Meter). Die Bereitstellung von Informationen in einer strukturierten Form vereinfacht die weitere Verarbeitung, da nicht auf Textanalysen zurückgegriffen werden muss. Weil eine Analyse den Inhalt lediglich mit einer Unsicherheit bestimmen kann, wird diese, durch das Verwenden eines vorgegebenen Kategorisierungsschemas, verringert. Die Möglichkeit Informationen in unstrukturierter Art (Freitext, Audioaufnahme, Bilder, Videos) oder strukturierter Form (Einordnung in passende *Category*, *ReportType*, *Quantification*) bereitzustellen, erlaubt dem Benutzer die Eingabemethode flexibel zu wählen. Um unterschiedliche Rollen und somit auch Funktionen zuweisen zu können, werden Benutzer der Anwendung (*User*) in Bürger (*Citizen*) und Ersthelfer (*FirstResponder*) eingeteilt, wobei letztere wiederum einem Team zugeordnet werden können. Das Aufgabenmanagement (*Mission*) kann anschließend auf Team-Ebene erfolgen.

Die Implementierung des ersten Prototyps dieser Anwendung bietet die Grundlage um weitergehende Fragen zu untersuchen. Beispielhaft sei hier zu nennen: Wie können sich Freiwillige zusammenschließen um in einer Krisensituation ihre Hilfe anzubieten? Wie kann die Glaubwürdigkeit der gesendeten Information beurteilt werden? Wie wird mit Warnungen an Menschen umgegangen, die sich nicht selbst helfen können, beispielsweise ältere Personen? Kann mit Hilfe von *Gamification* die Bereitschaft zur Mitarbeit in der Bevölkerung gesteigert werden, wie es von Frisiello et al. (2017) vorgeschlagen wird?

5. Semantische Webtechnologien

In den vorhergehenden Abschnitten wurden Informationsquellen aufgezeigt, die zur Beurteilung der aktuellen Sicherheitslage herangezogen werden können. Eine umfassende Auswertung dieser Quellen ist jedoch nur möglich, wenn über deren Daten ein einheitliches Verständnis existiert. Diese Herausforderung wurde auch im Kontext des World-Wide-Webs erkannt und diskutiert, sodass Tim Berners-Lee mit dem *Semantic Web* einen Begriff geprägt hat, der ein maschinenles- und interpretierbares Web beschreibt (Berners-Lee, Hendler, & Lassila, 2001). Ein Bestandteil dieses Semantic Webs sind Ontologien, mit deren Hilfe Informationen repräsentiert werden können. Einerseits beschreiben sie Konzepte und Relationen, um die Struktur der Information zu beschreiben und Begriffe zu definie-

ren. Andererseits beinhalten Ontologien Instanzen, die vorhandene Informationen repräsentieren. Um Interoperabilität sicherzustellen hat das W3C Standards⁹ entwickelt, um Ontologien erstellen, aber auch durchsuchen zu können.

Die Konzepte des Semantic Webs können ebenfalls im Kontext von Entscheidungsunterstützungssystemen eingesetzt werden. Beispielsweise existiert mit dem *Management of a Crisis (MOAC)* Vokabular (Limbu, Wang, Kauppinen, & Ortmann, 2012) eine Möglichkeit eine Krise und verfügbare Ressourcen zu beschreiben. Im Rahmen des *SoKNOS* Projektes beschreiben Babitski et al. (2011) den Einsatz von semantischen Technologien im Rahmen eines Entscheidungsunterstützungssystems. Diese Arbeit zeigt, wie Informationen in einer Ontologie organisiert werden können, um diese in einer semantisch einheitlichen Form maschinenlesbar vorzuhalten. Die durch Ontologien eindeutig definierten Bedeutungen und Beziehungen von Objekten erlauben, über die Anwendung wohldefinierter Regeln, die Schlussfolgerung weiterer Fakten. Das heißt, dass Informationen die nicht explizit im Datenbestand vorhanden sind, trotzdem aus dem vorhandenen Wissen abgeleitet werden können.

Existierende Ansätze zielen darauf ab die vorhandenen Informationen über die aktuelle Lage in einer einzigen Ontologie zu verwalten. Dies ermöglicht eine einheitliche Abfrage des Datenbestands durch eine Abfragesprache, wie beispielsweise das durch das W3C spezifizierte SPARQL¹⁰. In den vorhergehenden Abschnitten wurden jedoch Informationsquellen (beispielsweise Sensormesswerte) aufgezeigt, deren Informationen sich nicht ohne weiteres in eine zentrale Ontologie überführen lassen. Insbesondere ist eine horizontale Skalierung, durch Hinzufügen weiterer Rechenleistung, nicht möglich. Dies führt dazu, dass die vorhandenen Informationen dezentral gespeichert werden müssen. Zusätzlich zur dezentralen Speicherung ist ein Zugriff auf diese Informationen nicht standardisiert, sodass Datenstruktur und Abfragemöglichkeit sehr stark variieren können. Das hat zur Folge, dass eine Beziehung der einzelnen Datenquellen untereinander nicht hergestellt werden kann und eine übergreifende Analyse, wenn überhaupt, nur sehr aufwendig möglich ist.

Dennoch können Ontologien als Bindeglied zwischen diesen Quellen eingesetzt werden. Hierbei werden wichtige, quellenübergreifende Konzepte und Beziehungen in einer Basis-Ontologie (*upper ontology*) beschrieben. Ein Vergleich dieser ist beispielsweise in der Arbeit von Mascardi et al. (2007) zu finden. Ergänzend

⁹ https://www.w3.org/2001/sw/wiki/Main_Page [Zugriff: 31.10.2018]

¹⁰ <https://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/> [Zugriff: 31.10.2018]

kann eine anwendungsfallsspezifische Ontologie eingesetzt werden, die die unterschiedlichen Konzepte der Anwendungsdomäne beschreibt (beispielsweise für den Einsatz in einem Entscheidungsunterstützungssystem im Kontext von Wetterereignissen (Kontopoulos, et al., 2018)). Ein fundamentaler Bestandteil semantischer Webtechnologien ist die Verknüpfbarkeit unterschiedlicher Ontologien. Mittels *Uniform Resource Identifiers* (URIs) können Beziehungen zwischen diesen angegeben werden. Sind die wichtigsten Konzepte der unterschiedlichen Datenquellen innerhalb der *upper ontology* verfügbar, kann mit Hilfe von SPARQL eine übergreifende Anfrage an verteilte Datenquellen stattfinden.

Diese vereinheitlichte Verknüpfungs- und Abfragemöglichkeit ist jedoch nur gegeben, wenn sämtliche Datenquellen als Ontologie zur Verfügung stehen und mittels SPARQL abgefragt werden können. Im Allgemeinen ist dies nicht gegeben, sodass für diese Datenquellen zusätzlich eine semantische Integrationsschicht geschaffen werden muss. Für relationale Datenspeicher existieren generische Abbildungsmöglichkeiten (Chebotko, Lu, & Fotouhi, 2009). Aufgrund deren Komplexität ist eine Einbindung jedoch nicht trivial. Da Sensordaten im Kontext von Entscheidungsunterstützungssystemen eine wichtige Rolle spielen, ist eine semantische Integration des in Abschnitt 3 vorgestellten SensorThings API-Standards notwendig. Arbeiten hierzu sind nicht bekannt. Neben einem semantischen Modell muss insbesondere eine Abbildung einer semantischen Abfrage auf die im SensorThings API vorgesehen Abfragemöglichkeiten gefunden werden.

6. Semantisches Modell

Als Beispiel für ein semantisches Modell soll an dieser Stelle die Ontologie des beAWARE Projektes vorgestellt werden. Eine ausführliche Beschreibung ist in der Veröffentlichung von Kontopoulos et al. (2018) zu finden. Die vollständige Ontologie ist auf GitHub¹¹ verfügbar.

In Abbildung 4 sind die wichtigsten Konzepte der beAWARE Ontologie, sowie deren Beziehungen untereinander visualisiert. Dieses semantische Modell ist eine leichtgewichtige Beschreibung für das Krisenmanagement im Kontext von klimabedingten Naturkatastrophen.

¹¹ <https://github.com/beAWARE-project/ontology> [Zugriff: 31.10.2018]

Semantische Integration von Daten zur Beurteilung der Sicherheitslage

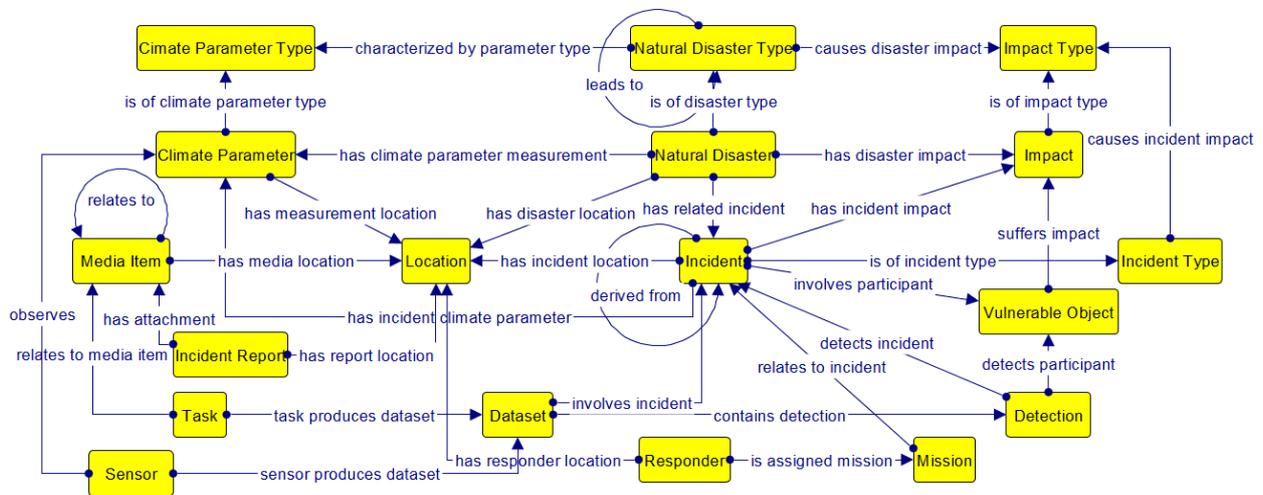


Abbildung 4 Übersicht der beAWARE Ontologie (Kontopoulos, et al., 2018)

Da die Ontologie ein zentraler Bestandteil eines Entscheidungsunterstützungssystems ist, müssen sämtliche Anwendungsdomänen betrachtet werden, die in diesem Zusammenhang eine Rolle spielen. In diesem Beispiel sind dies: Naturkatastrophen, zusammen mit den verursachenden Klimabedingungen, Risikobeurteilung durch Modellierung der Auswirkungen, Datenintegration insbesondere deren Analyseergebnisse sowie die Verwaltung von Einsatzkräften und der ihnen zugeordneten Aufgaben.

Eine Naturkatastrophe wird als Instanz eines *Natural Disasters* modelliert, beispielsweise das Hochwasser im Frühjahr 2016 in Europa. Die Art der Naturkatastrophe wird durch ihren Typ (*Natural Disaster Type*), in diesem Fall Hochwasser, beschrieben. Die Aufteilung in Ereignis und Typ erlaubt eine einfache Kategorisierung der Vorfälle. Dieser Modellierungsansatz wird ebenfalls bei Klimaparameter und Klimaparametertyp angewendet. Dies erlaubt eine generische Beschreibung von Naturkatastrophen und ihren charakterisierenden Klimaparametern. Eine Hitzewelle (Typ der Naturkatastrophe) wird beispielsweise durch eine hohe Temperatur und Luftfeuchtigkeit (Klimaparametertyp) bestimmt. Ein Klimaparameter beschreibt die Messung eines Phänomens zu einem bestimmten Zeitpunkt, beispielsweise kann dies genutzt werden, um auf diese Weise Sensordaten einzubinden. Um Mehrdeutigkeiten zu verhindern, wird jeder *Climate Parameter* nicht nur durch den Wert der Messung und dessen Uhrzeit, sondern auch durch die gemessene Einheit beschrieben.

An einem Ausschnitt dieser Beispielontologie wurde verdeutlicht, welche Modellierungsmöglichkeiten durch Ontologien entstehen und wie diese genutzt werden um Begriffe, deren Zusammenhänge und Bedeutungen beschreiben zu können.

7. Von Daten zur aktuellen Sicherheitslage

Bis hier hin wurde ein Überblick gegeben, welche Informationsquellen für die Modellierung der Sicherheitslage zur Verfügung stehen. Es wurde gezeigt, dass semantische Webtechnologien, insbesondere Ontologien die Möglichkeit bieten unterschiedliche Datenquellen zu integrieren und helfen ein gemeinsames Verständnis der Konzepte zu erreichen. Dies ist lediglich der erste Schritt um ein Modell der aktuellen Sicherheitslage zu erhalten. In weiteren Stufen muss dieser Datenbestand durchsucht, analysiert und aufbereitet werden. Zum einen kann dies rückblickend geschehen, um auf Erfahrungen und Erkenntnisse der Vergangenheit zurückzugreifen. Zum anderen können dies im Krisenfall Echtzeitinformationen sein, die die aktuelle Lage repräsentieren. Vorhersagen und Modelle können herangezogen werden um eventuelle zukünftige Entwicklungen vorherzusagen. Das Hauptziel hierbei ist immer den Endbenutzer dabei zu unterstützen Entscheidungen im Krisenfall zu treffen.

Mittels fest definierter Metriken kann der Datenbestand kontinuierlich ausgewertet werden, um kritische Situationen frühzeitig zu erkennen und einschätzen zu können. Diese Metriken können direkt aus Sensorwerten abgeleitet (aktueller Wasserpegel), aber auch aus komplexeren Zusammenhängen berechnet werden (aktuelle Auslastung der Rettungskräfte). Zusätzlich besitzen diese Metriken einen geographischen Bezug, sei es ein Punkt (Messpunkt des Wasserpegels) oder ein Gebiet (Auslastung der Rettungskräfte in diesem Bereich). Neben Metriken, die die Lage geografisch zusammenfassen, kann der Datenbestand auch auf kritische Ereignisse hin überwacht werden. Sind Ereignisse detektiert worden, die ein (sofortiges) Eingreifen der Rettungskräfte erforderlich machen, beispielsweise, weil durch eine Überwachungskamera Personen erkannt wurden, die in Gefahr sind?

Um solche Fragen, im Kontext der Wissensverarbeitung auch *Kompetenzfragen* genannt, beantworten zu können, müssen diese in einem ersten Schritt formalisiert werden. Beim Einsatz semantischer Technologien bietet sich hierfür die bereits erwähnte SPARQL Abfragesprache an, um das semantische Modell zu durchsuchen.

```
SELECT ?disaster ?incident ?severity
WHERE {
  ?disaster rdf:type ba:NaturalDisaster .
  ?incident rdf:type ba:Incident .
  ?disaster ba:hasRelatedIncident ?incident .
  ?incident ba:hasIncidentSeverity ?severity .
  FILTER (?severity = "very high"^^xsd:string)
}
```

Abbildung 5 Als SPARQL-Abfrage formalisierte Kompetenzfrage

Abbildung 5 zeigt eine beispielhafte SPARQL-Anfrage, die alle Vorfälle im Zusammenhang mit einer Naturkatastrophe selektiert, die sehr schwerwiegend sind. Um eine Antwort zu erhalten, muss das semantische Modell vollständig durchsucht werden. Es ist nicht trivial möglich festzustellen, ob sich durch einen neu hinzugefügten Datensatz das Ergebnis einer Abfrage ändert, ohne diese vollständig neu zu evaluieren. Das hat zur Folge, dass eine Auswertung explizit angestoßen werden muss. Dies kann periodisch geschehen (beispielsweise jede Minute) oder auf Nachfrage eines Benutzers, der die Situation analysiert. Um unnötige Ausführungen zu verhindern und um die Antwortzeiten zu verringern, kann die Relevanz neuer Datensätze geschätzt und daraufhin der Ausführungszeitpunkt optimiert werden. Dieses Vorgehen ist jedoch sehr anwendungsspezifisch und wurde noch nicht tiefergehend untersucht.

Wie in diesem Abschnitt beschrieben, ist eine reine Datenerhebung und Integration für eine umfassende Modellierung und Darstellung der Lage nicht ausreichend. Neben einem formalisierten Datenmodell ist auch ein domänenübergreifendes Verständnis der Konzepte notwendig, um die Daten auszuwerten und interpretieren zu können und somit ein Bild der aktuellen Sicherheitslage zu bekommen. Der Einsatz von semantischen Webtechnologien, insbesondere von SPARQL, ermöglicht es auch nachträglich neue Kompetenzfragen zu formulieren und auszuführen, um somit neue Funktionen zur Auswertung zu integrieren.

8. Forschungsfragen und Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde ein Überblick über aktuelle Entwicklungen im Bereich von Entscheidungsunterstützungssystemen, mit dem Schwerpunkt auf semantische Modellierung gegeben. Der Informationsfluss von Datenerhebung, über die Integration bis hin zur Lagebeurteilung wurde aufgezeigt und die Herausforderungen an den jeweiligen Stellen thematisiert. Eine mobile Anwendung um die

Bevölkerung mittels Crowdsourcing in die Informationsgewinnung einzubeziehen wurde vorgestellt. Die gezeigten semantischen Technologien bieten die Möglichkeit einer nahtlosen Integration in ein Entscheidungsunterstützungssystem. Die dargestellten Möglichkeiten und Technologien dienen als Grundlage für die Beantwortung weiterer Forschungsfragen. Diese lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- **Welche weiteren Informationsquellen existieren?**
Basis eines Entscheidungsunterstützungssystems sind die zugrundeliegenden Informationen, sodass diese von entscheidender Bedeutung sind. Um die Unsicherheit zu verringern, sollen weitere Informationsquellen auf ihre Nutzbarkeit in Entscheidungsunterstützungssystemen hin evaluiert werden. Dies umfasst insbesondere Wettervorhersagen, öffentlich zugängliche Sensormesswerte und geografische Informationen (wie beispielsweise von OpenStreetMap¹² zur Verfügung gestellt).
- **Wie können diese externen Quellen semantisch modelliert werden?**
Über das Linked Open Data Projekt¹³ sind bereits eine Vielzahl an semantischen Datenquellen unterschiedlichster Domänen zu finden. Diese können, durch eine Verknüpfung mit der Basis Ontologie, in ein Entscheidungsunterstützungssystem integriert werden. Für weitere, im ersten Schritt genannte Informationsquellen existiert kein semantisches Modell, welches somit noch entwickelt werden muss. Ein generisches Modell ist hierbei wünschenswert, damit dies auf weitere Datenquellen, die ähnliche Informationen bereitstellen, angewendet werden kann.
- **Wie können externe Datenquellen integriert werden?**
Eine enge Integration externer Datenquellen kann nur stattfinden, wenn diese auch abgefragt und durchsucht werden können. Im Kontext von semantischer Integration muss jede Quelle somit einen SPARQL-Endpunkt bereitstellen. Am Beispiel des SensorThingsAPIs wurde gezeigt, dass eine Abbildung von SPARQL auf OData gefunden werden muss. Ähnliches muss für jede weitere Informationsquelle stattfinden.
- **Wie können die ausgewerteten Informationen präsentiert werden?**
Nachdem unterschiedliche Datenquellen integriert wurden und eine Auswertung stattgefunden hat, müssen die Ergebnisse visuell aufbereitet und dem Anwender präsentiert werden. In weiteren Forschungsarbeiten soll

¹² <https://www.openstreetmap.de/> [Zugriff: 31.10.2018]

¹³ <https://lod-cloud.net/> [Zugriff 31.10.2018]

untersucht werden, welche Präsentations- und Darstellungsmöglichkeiten existieren und wie diese im Kontext von Entscheidungsunterstützungssystemen eingesetzt werden können.

9. Acknowledgments

Die Forschungsarbeit, die zu diesen Ergebnissen geführt hat, wurde von der Europäischen Union im Rahmen des Horizon 2020 Research and Innovation Programme unter Grant Agreement no 700475 “beAWARE: Enhancing decision support and management services in extreme weather climate events” gefördert.

Literatur

- Angaramo, F., & Rossi, C. (2018). Online clustering and classification for real-time event detection in Twitter.
- Babitski, G., Bergweiler, S., Grebner, O., Oberle, D., Paulheim, H., & Heiko, F. (2011). *SoKNOS – Using Semantic Technologies in Disaster Management Software*. Springer Berlin Heidelberg.
- Berners-Lee, T., Hendler, J., & Lassila, O. (2001). The semantic web. *Scientific american*, 284(5), S. 34–43.
- Betke, H. (2018). A Volunteer Coordination System Approach for Crisis Committees. *15th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management (ISCRAM 2018)*.
- Chebotko, A., Lu, S., & Fotouhi, F. (2009). Semantics preserving SPARQL-to-SQL translation. *Data & Knowledge Engineering*, 68(10), S. 973–1000.
- Di Pietro, A., Lavallo, L., La Porta, L., Pollino, M., Tofani, A., & Rosato, V. (2016). Design of DSS for supporting preparedness to and management of anomalous situations in complex scenarios. In *Managing the Complexity of Critical Infrastructures* (S. 195–232). Springer.
- Fang, S., Da Xu, L., Zhu, Y., Ahati, J., Pei, H., Yan, J., . . . others. (2014). An Integrated System for Regional Environmental Monitoring and Management Based on Internet of Things. *IEEE Trans. Industrial Informatics*, 10(2), S. 1596–1605.

Philipp HERTWECK

- Fielding, R. T., & Taylor, R. N. (2002). Principled design of the modern Web architecture. *ACM Transactions on Internet Technology (TOIT)*, 2(2), S. 115–150.
- Frisiello, A., Nguyen, Q. N., & Rossi, C. (2017). Gamified crowdsourcing for disaster risk management.
- Frommberger, L., & Schmid, F. (2013). Mobile4D.
- Han, J., Haihong, E., Le, G., & Du, J. (2011). Survey on NoSQL database.
- Imran, M., Castillo, C., Diaz, F., & Vieweg, S. (2015). Processing social media messages in mass emergency. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 47(4), S. 67.
- Kontopoulos, E., Mitzias, P., Moßgraber, J., Hertweck, P., van der Schaaf, H., Hilbring, D., . . . others. (2018). Ontology-based Representation of Crisis Management Procedures for Climate Events. *15th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management (ISCRAM 2018)*, 2018.
- Lauras, M., Truptil, S., & Bénaben, F. (2015). Towards a better management of complex emergencies through crisis management meta-modelling. *Disasters*, 39(4), S. 687–714.
- Liang, S., Huang, C.-Y., & Khalafbeigi, T. (2016). OGC SensorThings API Part 1: Sensing.
- Limbu, M., Wang, D., Kauppinen, T., & Ortmann, J. (2012). *Management of a Crisis (MOAC) Vocabulary Specification*. Abgerufen am 1. 5 2018 von <http://observedchange.com/moac/ns/>
- Maier, D. (1983). *The theory of relational databases* (Bd. 11). Computer science press Rockville.
- Mascardi, V., Cordi, V., & Rosso, P. (2007). A Comparison of Upper Ontologies.
- Moßgraber, J. (2017). *Ein Rahmenwerk für die Architektur von Frühwarnsystemen* (Bd. 29). KIT Scientific Publishing.

Semantische Integration von Daten zur Beurteilung der Sicherheitslage

- Moßgraber, J., Hilbring, D., van der Schaaf, H., Hertweck, P., Kontopoulos, E., Mitziias, P., . . . Kompatsiaris, I. (2018). The sensor to decision chain in crisis management. In *15th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management (ISCRAM 2018)*.
- Netten, N., & van Someren, M. (2011). Improving communication in crisis management by evaluating the relevance of messages. *Journal of contingencies and crisis management*, *19*(2), S. 75–85.
- Newman, J. P., Maier, H. R., Riddell, G. A., Zecchin, A. C., Daniell, J. E., Schaefer, A. M., . . . Newland, C. P. (2017). Review of literature on decision support systems for natural hazard risk reduction. *Environmental Modelling & Software*, *96*, S. 378–409.
- Okolloh, O. (2009). Ushahidi, or ‘testimony’. *Participatory learning and action*, *59*(1), S. 65–70.
- Pizzo, M., Handl, R., & Zurmuehl, M. (2014). OData Version 4.0 Part 1: Protocol.
- Singh, S., & Singh, N. (2012). Big Data Analytics [C]. 2012 International Conference on Communication. *Information & Computing Technology (ICCICT)*, *1*.
- Sprague, R. H. (1980). A Framework for the Development of Decision Support Systems. *MIS Quarterly*, *4*(4), S. 1.
- Terpstra, T., Vries, A., Stronkman, R., & Paradies, G. L. (2012). *Towards a realtime Twitter analysis during crises for operational crisis management*. Simon Fraser University Burnaby.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction UNISDR. (2015). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction. *2015*.