



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Masterarbeit

Svend-Anjes Pahl

Ein Informationssystem zur semantischen
Abhängigkeitsanalyse kritischer Infrastrukturen
auf Basis von Lagedaten

Svend-Anjes Pahl

Ein Informationssystem zur semantischen
Abhängigkeitsanalyse kritischer Infrastrukturen auf
Basis von Lagedaten

Masterarbeit eingereicht im Rahmen der Masterprüfung
im Studiengang Informations- und Elektrotechnik
am Department Informations- und Elektrotechnik
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer : Prof. Dr. Thomas Thiel-Clemen
Zweitgutachter : Prof. Dr. Stefan Sarstedt

Abgegeben am 13. Februar 2014

Svend-Anjes Pahl

Thema der Masterarbeit

Ein Informationssystem zur semantischen Abhängigkeitsanalyse kritischer Infrastrukturen auf Basis von Lagedaten

Stichworte

Kritische Infrastruktur, Interdependenz, Krisenstab, Lagedarstellung, Lagebeurteilung, Ontologie, Inferenz

Kurzzusammenfassung

Die Beurteilung der Auswirkungen von Schadensereignissen auf kritische Infrastruktur spielt bei der Deeskalation von Krisen eine wichtige Rolle. Die Modellierung der Abhängigkeiten kritischer Infrastrukturen ist ein zeitintensiver Prozess, welcher von Krisenstäben während der Lagebewältigung nicht geleistet werden kann. In dieser Arbeit wird ein Prototyp eines Informationssystems entworfen, der den Modellierungsaufwand für eine Abhängigkeitsanalyse reduziert. Hierdurch wird ein Einsatz im Krisenstab zur Abschätzung von Gefahren auf kritische Infrastrukturen ermöglicht.

Svend-Anjes Pahl

Title of the paper

An information system for semantic dependency analysis of critical infrastructure based on situational facts

Keywords

critical infrastructure, interdependency analysis, crisis team, situation representation, situation analysis, ontology, inference

Abstract

The impact assessment of disasters on critical infrastructure plays an important role during crisis deescalation. Modelling critical infrastructure interdependencies is a time consuming task, which cannot be performed by crisis teams during deescalation phase. This thesis proposes an information system prototype able to reduce the interdependency modelling effort. Therefore it can be used for danger estimation of disasters on critical infrastructure by crisis teams.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	VIII
1. Einleitung	1
1.1. Ziel der Arbeit	2
1.2. Abgrenzung	3
1.3. Bekannte Probleme	3
1.4. Erläuterungen zur Struktur	4
2. Grundlagen	6
2.1. Kritische Infrastrukturen	6
2.1.1. Definition kritischer Infrastrukturen	6
2.1.2. Abhängigkeitsanalyse kritischer Infrastrukturen	9
2.2. Katastrophenmanagement und Krisenstabsarbeit	16
2.2.1. Katastrophenmanagement-Zyklus	16
2.2.2. Krisenstäbe	17
2.2.3. Verwundbarkeitsassessment kritischer Infrastrukturen	24
2.3. Wissensmanagement und semantische Datenrepräsentation	25
2.3.1. Wissensmanagement	25
2.3.2. Semantische Datenrepräsentation mit Ontologien	28
3. Einführung in das Beispielszenario	31
3.1. New Orleans	31
3.2. New Orleans Hurrikan Vorbereitung	32
3.3. Hurrikan Katrina	33
3.3.1. Überflutung von New Orleans	33
3.3.2. Auswirkungen auf die kritische Infrastruktur	34
4. Analyse	38
4.1. Herausforderungen für einen Krisenstab	38
4.2. Anforderungen an ein Analysewerkzeug für den Einsatz im Krisenstab	40
4.2.1. Systemkontext	41

4.2.2. Lagebeurteilung kritischer Infrastrukturen	42
4.2.3. Fachliche Anforderungen	45
4.2.4. Technische Anforderungen	49
4.3. Auswahl eines Modellierungsansatzes für die Abhängigkeitsanalyse kritischer Infrastrukturen im Krisenstab	51
4.3.1. Anforderungen an einen Modellierungsansatz	51
4.3.2. Vergleich der Modellierungsansätze	53
4.3.3. Auswahl eines Modellierungsansatzes	56
4.4. Zusammenfassung	58
5. Entwurf	59
5.1. Fachlicher Entwurf	59
5.1.1. Ontologiebasierter Wissensmanagement-Zyklus zur KRITIS-Analyse	59
5.1.2. Beispielontologie zur Modellierung von Abhängigkeiten von KRITIS	60
5.1.3. Spatio-temporale Inferenz der Betriebszustände	70
5.1.4. Datenkonsistenz	77
5.2. Technischer Entwurf	78
5.2.1. Technologieauswahl	78
5.2.2. Architekturentwurf	80
5.2.3. Entwurf der Anwendungsschicht	82
5.2.4. Entwurf der Informationsintegration	89
6. Realisierung	92
6.1. Abbildung der prädikatenlogischen Inferenzregeln auf SPIN	92
6.1.1. Einfache und abgeleitete Prädikate	92
6.1.2. Junktoren	93
6.1.3. Quantoren	95
6.2. Realisierung der spatialen und temporalen Inferenz mit Parliament und SPIN	96
6.2.1. Spatialer Index für Kreise	96
6.2.2. Semantische Ausrichtung der temporalen Beschreibung	98
6.2.3. Integration der SPIN Inferenz-Engine in Parliament	99
6.3. Anbindung von Open Data Quellen	101
6.3.1. Open Street Map	102
6.3.2. CellReception	103
6.4. Generierung der Graphen	103
6.4.1. Generierung des Abhängigkeitsgraphen	104
6.4.2. Generierung des Erklärungsgraphen	105
7. Ergebnisse	108
7.1. Infrastrukturkonzepte	108
7.1.1. Beschreibung der Konzepte	108

7.1.2. Verifizierung der Konzepte	117
7.2. Beschreibung des Beispielszenarios	122
7.2.1. Import kritischer Infrastrukturen	122
7.2.2. Eingabe von Ereignissen	125
7.3. Semantische Abhängigkeitsanalyse des Beispielszenarios	126
7.4. Abgleich der Analyseergebnisse mit den Ereignissen bei Katrina	130
8. Diskussion & Ausblick	133
8.1. Diskussion der Ergebnisse im Hinblick auf die aufgestellten Hypothesen	133
8.2. Offene Probleme	135
8.3. Zusammenfassung der Erkenntnisse	135
8.4. Ausblick	136
A. Abbildungen	138
B. Benutzeroberfläche	140
C. Inhalt der DVD	143
Glossar	144
Literaturverzeichnis	146

Abbildungsverzeichnis

2.1. Dimensionen von Abhängigkeiten zwischen kritischen Infrastrukturen	10
2.2. Zyklus der Aufgaben des Katastrophenmanagements	17
2.3. Aufbau von Krisenstäben nach FwDV100	19
2.4. Beispiel einer Lagekarte im Krisenstab	22
2.5. Kreislauf für die Bewältigung von Katastrophen und Großschadenslagen	23
2.6. Wissenstransformationsprozess	27
2.7. Semiotisches Dreieck	29
4.1. Systemkontext des Informationssystems zur Abhängigkeitsanalyse kritischer Infrastrukturen	41
4.2. Aktivitätsdiagramm für den Anwendungsfall Lagebeurteilung kritischer Infra- strukturen	43
5.1. Wissensmanagement-Zyklus in Krisenstäben	60
5.2. Ontologie-Stack der verwendeten Ontologien	62
5.3. Fachliches Datenmodell einer Infrastrukturkomponente	65
5.4. Semantische Beschreibung einer Infrastruktur	66
5.5. Semantische Beschreibung von Prozessausführungen und Output- Auslieferungen	67
5.6. Semantische Beschreibung von Infrastruktur-Konzept und Prozessdefinition	68
5.7. Semantische Beschreibung von Ereignissen	69
5.8. Relationen zwischen Intervallen	72
5.9. Schichtenarchitektur des Prototypen	81
5.10. Plugins der Anwendungsschicht	83
5.11. Sequenzdiagramm für das Hinzufügen eines Polygons zur Karte	86
5.12. Sequenzdiagramm für die Darstellung von Eigenschaften zur aktuellen Benutzer-Selektion	87
6.1. Sequenzdiagramm für das Hinzufügen eines Kreises zum spatialen Index	97
6.2. Beziehungen zwischen Intervallen und Zeitpunkten	99
6.3. Sequenzdiagramm für die Registrierung von SPIN Regeln	100
6.4. Import kritischer Infrastrukturen aus Open Street Map	102

7.1. Kraftwerk Infrastruktur-Konzept	109
7.2. Umspannwerk Infrastruktur-Konzept	110
7.3. Notstrom-Generator Infrastruktur-Konzept	111
7.4. Wasseraufbereitung Infrastruktur-Konzept	111
7.5. Drainagepumpe Infrastruktur-Konzept	112
7.6. Mobilfunkmast Infrastruktur-Konzept	112
7.7. Pflegeheim Infrastruktur-Konzept	113
7.8. Öl-Raffinerie Infrastruktur-Konzept	114
7.9. Krankenhaus Infrastruktur-Konzept	114
7.10. Wohngebiet unterhalb des Meeresspiegels Infrastruktur-Konzept	115
7.11. Wohngebiet Infrastruktur-Konzept	116
7.12. Wirkungsbereich Sturm	125
7.13. Wirkungsbereich Überflutung	126
7.14. Ergebnis der Abhängigkeitsanalyse der kritischen Infrastrukturen	127
7.15. Erläuterung für den Ausfall des Kraftwerks Michoud	129
7.16. Erläuterung für den Mangel an Trinkwasser	129
A.1. Komponenten kritischer Infrastrukturen	138
A.2. New Orleans Stromnetz	139
B.1. Benutzeroberfläche zur Lagedarstellung	140
B.2. Benutzeroberfläche zur Lagebeurteilung	141
B.3. Benutzeroberfläche mit Editor zur Eingabe von Versorgungsbereichen	142
B.4. Benutzeroberfläche mit Ansicht zur Analyse von Schadensereignissen	142

Tabellenverzeichnis

2.1. Definitionen kritischer Infrastrukturen im Vergleich	8
3.1. Fakten der Auswirkungen von Katrina auf New Orleans	37
4.1. Beurteilung von Lageinformationen über Infrastrukturkomponenten	44
4.2. Beurteilung von Lageinformationen über Schadensereignisse	45
4.3. Eigenschaften der Modellierungsansätze im Vergleich	53
5.1. Kategorisierung der Eigenschaften einer Infrastrukturkomponente nach individuellen und Klassen-Eigenschaften	64
5.2. Kategorisierung der Eigenschaften einer Infrastrukturkomponente nach zeitlich konstanten und variablen Eigenschaften	64
7.1. Zustandstabelle Kraftwerk	117
7.2. Zustandstabelle Umspannwerk	118
7.3. Zustandstabelle Notstrom-Generator	118
7.4. Zustandstabelle Wasseraufbereitungsanlage	119
7.5. Zustandstabelle Drainagepumpe	119
7.6. Zustandstabelle Mobilfunkmast	119
7.7. Zustandstabelle Öl-Raffinerie	120
7.8. Zustandstabelle Krankenhaus	120
7.9. Zustandstabelle Pflegeheim	121
7.10. Zustandstabelle Wohngebiet	121
7.11. Zustandstabelle Wohngebiet unter Meeressniveau	122
7.12. Importierte kritische Infrastruktur	123
7.13. Gegenüberstellung der Ereignisse	132

1. Einleitung

Zwischen kritischen Infrastrukturen haben sich im Verlaufe der vergangenen Jahre, durch die anhaltende Globalisierung, den technologischen Fortschritt und eine zunehmende Populationsdichte, insbesondere in Großstädten, komplexe Abhängigkeiten gebildet. Die Naturkatastrophen aus der jüngeren Geschichte haben gezeigt, dass ihre Auswirkungen auf die kritische Infrastruktur einer Region nur schwer abgeschätzt werden können. Die computergestützte Analyse der Abhängigkeiten zwischen kritischen Infrastrukturen hat daher in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen (vgl. [Rinaldi u. a., 2001](#)). Die Abschätzung der Auswirkungen von Schadensereignissen ist eine große Herausforderung bei der Infrastrukturplanung und für den Katastrophenschutz. Existierende Modellierungsansätze zur Analyse von kritischen Infrastrukturen unterscheiden sich, je nach Einsatzgebiet, stark im Modellierungsaufwand und Detailgrad (vgl. [Rinaldi, 2004](#)). Infrastrukturbetreiber simulieren auf physikalischer Ebene, um die Stabilität der Versorgungsnetze sicherzustellen. Im Gegensatz dazu dienen abstrakte, makroskopische Modelle der Abschätzung der ökonomischen Auswirkungen.

Großflächige Schadensereignisse erfordern die Einrichtung von Krisenstäben, um die Katastrophenhilfe zu koordinieren (vgl. [Vemmer, 2004](#)). Eine Hauptaufgabe von Krisenstäben besteht in der Lagebeurteilung. Hierbei wird die zukünftige Entwicklung einer Schadenslage auf Basis von gesammelten Lagedaten abgeschätzt. Lagedaten sind Informationen über die Situation und geben beispielsweise Auskunft über die Art der Schäden und ihre räumlichen Ausdehnungen. Bei der Lagebeurteilung spielt Wissen über die kritischen Infrastrukturen im Schadensgebiet eine entscheidende Rolle. Nur wenn ihre Wechselwirkungen bekannt sind, kann die Entwicklung einer Schadenslage zuverlässig abgeschätzt werden.

Lage-Informationssysteme, welche heutzutage im Katastrophenschutz Einsatz finden, setzen einen Fokus auf die Verwaltung und Verteilung von Lageinformationen, wie beispielsweise Wasserstände, aufgetretene Schäden und zur Verfügung stehende Ressourcen. Informationen über kritische Infrastrukturen stehen nicht oder nicht flächendeckend zur Verfügung (vgl. [BBK-PraxisBS4, 2010](#)). Eine Beschaffung dieser Informationen ist ein zeitintensiver Prozess und kann daher während der Deeskalation einer Krise nicht geleistet werden. Nur wenn Informationen über die Standorte kritischer Infrastrukturen zeitnah beschafft werden können und eine Abhängigkeitsanalyse keine aufwändige Modellierung erfordert, kann diese als Unterstützung bei der Lagebeurteilung in Krisenstäben eingesetzt werden.

1.1. Ziel der Arbeit

In dieser Arbeit soll ein Ansatz für die Abhängigkeitsanalyse kritischer Infrastrukturen in Krisenstäben entwickelt und anhand eines Beispielszenarios demonstriert werden. Um die Komplexität bei der Modellierung der Abhängigkeiten zwischen kritischen Infrastrukturen zu senken, wird die Hypothese aufgestellt, dass sich die potentiellen Gefahren eines Schadensereignisses von einer konkreten Infrastrukturkomponente abstrahieren lassen. Es wird angenommen, dass sie auf eine Klasse von Komponenten, im weiteren Verlauf der Arbeit auch Infrastruktur-Konzepte genannt, übertragbar sind. Die Klasse, der eine Infrastrukturkomponente angehört, ergibt sich aus der Funktion, die sie innerhalb einer kritischen Infrastruktur übernimmt sowie ihrer Anfälligkeit gegenüber Umwelteinflüssen. Dies ermöglicht es, eine Wissensbasis über die Funktion und Verwundbarkeit dieser Infrastrukturklassen anzulegen. Während einer Krisensituation müssen dann nur noch die Komponenten kritischer Infrastrukturen im Schadensgebiet identifiziert und einer Klasse zugeordnet werden. Somit reduziert sich der notwendige Modellierungsaufwand erheblich. Dieser Schritt kann durch den Import von Infrastrukturkomponenten aus Open Data Quellen teilweise automatisiert werden.

Im Verlauf dieser Arbeit wurde ein Prototyp für ein Informationssystem entworfen und realisiert, der eine Abhängigkeitsanalyse von kritischen Infrastrukturen auf Basis von Infrastrukturklassen ermöglicht. Es wird aufgezeigt, welche fachlichen Anforderungen an ein Informationssystem für die Analyse der Abhängigkeiten kritischer Infrastrukturen in Krisenstäben gestellt werden und wie ein Modell für die Analyse aussehen kann. Des Weiteren wird erläutert, welche Technologien für die Analyse eingesetzt werden können und welche Einschränkungen sich aus dem gewählten Modellansatz ergeben. Zur Validierung der Funktionalität sollen die Auswirkungen einer historischen Schadenslage auf ausgewählte kritische Infrastrukturen mit dem Prototypen analysiert werden. Diese Ergebnisse werden dann mit der Lageentwicklung der historischen Schadenslage abgeglichen.

Im Folgenden werden die Hypothesen formuliert, die dem Modellansatz des Prototypen zugrunde liegen und im weiteren Verlauf dieser Arbeit überprüft werden sollen.

- **Hypothese 1:** Die unmittelbaren Folgen eines Ereignisses auf eine Infrastrukturkomponente lassen sich kategorisieren. Diese Kategorien sind unabhängig vom Individuum und auf eine Klasse von Infrastrukturkomponenten übertragbar. Die infrastrukturbedingten Gefahren einer Schadenslage sind von den Infrastruktur-Konzepten im Schadensgebiet abhängig.
- **Hypothese 2:** Es existieren mittelbare Gefahren, die sich aus der Kombination von Ereignissen auf Infrastrukturen ergeben. Diese lassen sich mit Hilfe des Modellansatzes ermitteln.

- **Hypothese 3:** Das Wissen über die Auswirkungen von Ereignissen auf Infrastrukturen lässt sich formalisieren, so dass dieses im Ereignisfall vom Informationssystem zur Ermittlung potenzieller Gefahren verwendet werden kann.

1.2. Abgrenzung

Diese Arbeit hat nicht den Anspruch ein exaktes Modell für die Beschreibung von kritischen Infrastrukturen bereitzustellen. Das im Rahmen dieser Arbeit entworfene semantische Modell dient lediglich als Beispiel zur Demonstration des entwickelten Modellansatzes und kann als Ausgangspunkt für eine weitere Entwicklung verwendet werden, die im Rahmen dieser Arbeit nicht geleistet werden kann. Demzufolge dienen auch die entwickelten Infrastruktur-Konzepte lediglich zur Demonstration des Modellansatzes. Eine uneingeschränkte Übertragbarkeit auf beliebige Schadenslagen soll nicht gewährleistet werden, da dies den Rahmen dieser Arbeit übersteigen würde.

Zeit ist für die Arbeit eines Krisenstabes ein entscheidender Faktor. Diese Arbeit soll einen Modellansatz aufzeigen, der den Modellierungsaufwand für die Analyse kritischer Infrastrukturen verringert. Der zu entwerfende Prototyp soll jedoch nicht im Hinblick auf eine hohe Ausführungsgeschwindigkeit oder niedrige Rechenkomplexität optimiert werden. Die Performance der Durchführung der Analyse wird im Rahmen dieser Arbeit demnach nicht betrachtet werden.

Ein Informationssystem für den Einsatz in Krisenstäben muss eine gute Benutzbarkeit besitzen, da es auch in zeitkritischen Situationen intuitiv bedienbar sein muss. Für den Entwurf des Prototypen werden einige Erkenntnisse aus der Beobachtung von Krisenstabsübungen berücksichtigt. Eine Usability-Untersuchung der Benutzeroberfläche und Datenvisualisierung kann jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht geleistet werden.

1.3. Bekannte Probleme

Die Analyse kleinerer Störungen und Ausfälle innerhalb einer kritischen Infrastruktur ist gut untersucht und gehört zum Tagesgeschäft der Infrastrukturbetreiber. Flächendeckende Infrastrukturausfälle, die aus größeren Schadensereignissen resultieren, sind jedoch bis heute nur ansatzweise erforscht (vgl. [Rinaldi, 2004](#)). Daten über diese Ereignisse sind nur schwer zu erheben, da elektronische Erfassungssysteme unter Umständen selber vom Ausfall betroffen sind und die Erhebung von Daten zu Forschungszwecken in Großschadenslagen eine niedrige Priorität besitzt (vgl. [Simpson u. a., 2010](#)). Auch die Durchführung von Experimenten zur Datenerhebung ist für die Analyse von Abhängigkeiten zwischen Infrastrukturen nicht

möglich. Die Validierung der Modelle ist aus diesem Grund ein ungelöstes Problem. Anhaltspunkte für eine Validierung können jedoch die Untersuchungen größerer Schadenslagen, wie beispielsweise Hurrikan Katrina, liefern (vgl. [Senate, 2006](#)).

Ein zweiter Aspekt stellt die Verfügbarkeit von Detailinformationen über die kritischen Infrastrukturen dar. Informationen über die genaue Lage und Funktion von Komponenten kritischer Infrastrukturen besitzen eine hohe Sensibilität. Diese Informationen liegen bei den Infrastrukturbetreibern und werden aus Sicherheitsgründen nicht an Dritte weitergegeben. Die Erstellung eines detaillierten Modells für die Abhängigkeiten zwischen kritischen Infrastrukturen würde die Verfügbarkeit dieser Informationen, für alle Infrastrukturen einer Region, an einem Ort erfordern. Solch eine Datenbank wäre ein großes Sicherheitsrisiko, da die Identifizierung von besonders gefährdeten Infrastrukturkomponenten nicht nur für den Katastrophenschutz, sondern auch für Terroristen oder ausländische Geheimdienste von großem Wert wäre (vgl. [Rinaldi u. a., 2001](#)). Ziel dieser Arbeit ist aus diesem Grund keine detaillierte Modellierung einzelner Infrastrukturkomponenten. Vielmehr soll gezeigt werden, welche Unterstützung ein Modell auf Basis öffentlich verfügbarer Informationen bei der Lagebeurteilung in Krisenstäben bieten kann.

1.4. Erläuterungen zur Struktur

Diese Arbeit untergliedert sich, einschließlich der Einleitung, in acht Kapitel. In Kapitel 2 wird ein Überblick über die Grundlagen dieser Arbeit gegeben. Zunächst wird der Begriff der kritischen Infrastruktur eingeführt. Im Anschluss wird näher auf die Abhängigkeitsanalyse interdependenter Infrastrukturen eingegangen. Des Weiteren wird eine Einführung in das Katastrophenmanagement gegeben. Im Fokus stehen hierbei der Aufbau und die Arbeit von Krisenstäben sowie die Vorgehensweise bei der Verwundbarkeitsanalyse von kritischen Infrastrukturen. Im dritten Abschnitt der Grundlagen wird ein Überblick über das Gebiet des Wissensmanagements gegeben und die semantische Datenrepräsentation mit Ontologien erläutert.

Die Funktionalität des entwickelten Prototypen soll anhand der Ereignisse von Hurrikan Katrina auf die kritische Infrastruktur von New Orleans demonstriert werden. Dieses Beispielszenario wird in Kapitel 3 vorgestellt. Anschließend wird im vierten Kapitel eine [Analyse](#) der Herausforderungen eines Krisenstabes bei der Krisenbewältigung im Hinblick auf kritische Infrastrukturen erstellt. Hieraus lassen sich Anforderungen an ein Modell zur Abhängigkeitsanalyse kritischer Infrastrukturen ableiten. Die existierenden Modellierungsansätze werden im Bezug auf diese Anforderungen bewertet. Im Anschluss wird ein geeigneter Modellierungsansatz für den Entwurf des Prototypen ausgewählt.

Im Kapitel [Entwurf](#) wird zunächst ein Ansatz für die Abhängigkeitsanalyse aus fachlicher Sicht entworfen. Im Anschluss wird dann im zweiten Teil des Entwurfes auf den technischen Aufbau des Prototypen eingegangen. Kapitel [6](#) vertieft daraufhin ausgewählte Aspekte bei der Realisierung des Prototypen.

Der vorgestellte Modellierungsansatz wird in Kapitel [7](#) verwendet, um ausgewählte Infrastruktur-Konzepte zu beschreiben. Die modellierten Infrastruktur-Konzepte werden zunächst verifiziert. Im Anschluss werden sie für die Analyse der Ereignisse von Hurrikan Katrina auf die kritische Infrastruktur verwendet und die Ergebnisse der Analyse werden vorgestellt. Abschließend werden die ermittelten Ergebnisse in Kapitel [8](#) diskutiert und es wird ein Ausblick auf die Weiterentwicklungsmöglichkeiten des Prototypen gegeben.

2. Grundlagen

In diesem Kapitel werden zunächst die Grundlagen erläutert, auf welchen die nachfolgenden Kapitel aufbauen. Im ersten Abschnitt wird der Begriff der kritischen Infrastrukturen eingeführt, bevor auf die Abhängigkeitsanalyse kritischer Infrastrukturen eingegangen wird. Der zweite Abschnitt gibt einen Überblick über das deutsche Katastrophenmanagement und setzt hierbei einen Fokus auf die Arbeit von Krisenstäben. Im dritten Abschnitt werden die wesentlichen Grundlagen des Wissensmanagements vorgestellt und die semantische Repräsentation von Daten mit der Hilfe von Ontologien erläutert.

2.1. Kritische Infrastrukturen

In diesem Abschnitt wird zunächst der Begriff der kritischen Infrastruktur erläutert. Im Anschluss werden dann die Grundlagen der Abhängigkeitsanalyse zwischen kritischen Infrastrukturen näher betrachtet.

2.1.1. Definition kritischer Infrastrukturen

Unter kritischer Infrastruktur versteht man die Einrichtungen eines Landes, die für die reguläre Funktionsfähigkeit des Landes existenziell sind. Welche Einrichtungen für ein Land existenziell sind, variiert zwischen den einzelnen Ländern. Tabelle 2.1 zeigt die Definition von kritischen Infrastrukturen in verschiedenen Ländern.

Australia	„Critical infrastructure is defined as those physical facilities, supply chains, information technologies and communication networks which, if destroyed, degraded or rendered unavailable for an extended period, would significantly impact on the social or economic well-being of the nation, or affect Australia’s ability to conduct national defence and ensure national security.“
------------------	--

Canada	„Canada’s critical infrastructure consists of those physical and information technology facilities, networks, services and assets which, if disrupted or destroyed, would have a serious impact on the health, safety, security or economic well-being of Canadians or the effective functioning of governments in Canada.“
Germany	„Critical infrastructures are organisations and facilities of major importance to the community whose failure or impairment would cause a sustained shortage of supplies, significant disruptions to public order or other dramatic consequences.“
Netherlands	„Critical infrastructure refers to products, services and the accompanying processes that, in the event of disruption or failure, could cause major social disturbance. This could be in the form of tremendous casualties and severe economic damage....“
United Kingdom	„The [Critical National Infrastructure] comprises those assets, services and systems that support the economic, political and social life of the UK whose importance is such that loss could: 1) cause large- scale loss of life; 2) have a serious impact on the national economy; 3) have other grave social consequences for the community; or 3) be of immediate concern to the national government.“
France	„critical infrastructure are those activities that are indispensable to the public’s essential needs and the maintenance of the security and defence capabilities of the country: food, water, energy, transport, financial institutions, information and communications systems, and command and decision centres“
United States	„The general definition of critical infrastructure in the overall US critical infrastructure plan is: systems and assets, whether physical or virtual, so vital to the United States that the incapacity or destruction of such systems and assets would have a debilitating impact on security, national economic security, national public health or safety, or any combination of those matters. For investment policy purposes, this definition is narrower: systems and assets, whether physical or virtual, so vital to the United States that the incapacity or destruction of such systems and assets would have a debilitating impact on national security.“

EU	„'critical infrastructure' means an asset, system or part thereof located in Member States which is essential for the maintenance of vital societal functions, health, safety, security, economic or social well-being of people, and the disruption or destruction of which would have a significant impact in a Member State as a result of the failure to maintain those functions“
NATO	„ . . . critical infrastructure is generally understood as those facilities and services that are vital to the basic operations of a given society, or those without which the functioning of a given society would be greatly impaired.“

Tabelle 2.1.: Definitionen kritischer Infrastrukturen im Vergleich

Quellen: [OECD \(2008\)](#); [European Commission and others \(2008\)](#); [NATO \(2007\)](#)

Die Bundesrepublik Deutschland definiert „Kritische Infrastrukturen“ als . . .

. . . Organisationen und Einrichtungen mit wichtiger Bedeutung für das staatliche Gemeinwesen, bei deren Ausfall oder Beeinträchtigung nachhaltig wirkende Versorgungsengpässe, erhebliche Störungen der öffentlichen Sicherheit oder andere dramatische Folgen eintreten würden (vgl. [KRITIS-Strategie, 2011](#), S. 3).

Das Bundesministerium des Inneren unterteilt kritische Infrastrukturen in die folgenden neun Sektoren, welche wiederum in Branchen unterteilt werden (vgl. [Sektoreneinteilung, 2011](#)).

Energie: Elektrizität, Gas, Mineralöl

Informationstechnik und Telekommunikation: Telekommunikation, Informationstechnik

Transport und Verkehr: Luftfahrt, Seeschifffahrt, Binnenschifffahrt, Schienenverkehr, Straßenverkehr, Logistik

Gesundheit: Medizinische Versorgung, Arzneimittel, Impfstoffe, Labore

Wasser: Öffentliche Wasserversorgung, Öffentliche Abwasserbeseitigung

Ernährung: Ernährungswirtschaft, Lebensmittelhandel

Finanz- und Versicherungswesen: Banken, Börsen, Versicherungen, Finanzdienstleister

Staat und Verwaltung: Regierung und Verwaltung, Parlament, Justizeinrichtungen, Notfall- / Rettungswesen einschließlich Katastrophenschutz

Medien und Kultur: Rundfunk (Fernsehen und Radio), gedruckte und elektronische Presse, Kulturgut, symbolträchtige Bauwerke

2.1.2. Abhängigkeitsanalyse kritischer Infrastrukturen

Die U.S. President's Commission on Critical Infrastructure Protection beschreibt Infrastrukturen als ein Netzwerk von eigenständigen, größtenteils privaten, menschengemachten Systemen und Abläufen, welche gemeinschaftlich und synergetisch tätig sind, um einen kontinuierlichen Fluss an essentiellen Waren und Dienstleistungen zu erzeugen und zu verteilen (vgl. [Marsh, 1997](#)).

Die synergetische Zusammenarbeit von kritischen Infrastrukturen erzeugt Abhängigkeiten und Wechselwirkungen, welche verstanden werden müssen, um kritische Infrastrukturen vor Ausfällen zu schützen, beziehungsweise die Auswirkungen eines Ausfalls beurteilen zu können. Die Arten von Abhängigkeiten zwischen kritischen Infrastrukturen sowie Modellierungsansätze um diese aufzudecken und die Herausforderungen hierbei, werden in den nächsten Abschnitten näher beschrieben.

Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zwischen kritischen Infrastrukturen

Die Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zwischen kritischen Infrastrukturen sind von [Rinaldi u. a. \(2001\)](#) näher untersucht worden. Die Autoren beschreiben die Abhängigkeiten zwischen kritischen Infrastrukturen durch die sechs Dimensionen: 1. Art der Interdependenz, 2. Umgebung, 3. Kopplung und Reaktionsverhalten, 4. Infrastruktur-Charakteristik, 5. Ausfallart und 6. Betriebszustand.

Abbildung 2.1 stellt diese sechs Dimensionen grafisch dar. Im Folgenden sollen diese sechs Dimensionen näher erläutert werden.

Art der Interdependenz: Es werden vier unterschiedliche Arten von Interdependenz zwischen kritischen Infrastrukturen unterschieden. Eine Interdependenz ist *materiell (physical)*, wenn die Funktionalität einer Infrastruktur vom Output einer anderen Infrastruktur abhängig ist. Der Output der ersten Infrastruktur ist in diesem Fall der Input der Zweiten.

Zwei oder mehr Infrastrukturen sind *geografisch (geographic)* interdependent, wenn ein lokales Umweltereignis Zustandsänderungen in diesen Infrastrukturen auslösen kann. Diese Art von Abhängigkeit tritt dann auf, wenn sich zwei oder mehr Infrastrukturen in geografischer Nähe zueinander befinden.

Zwei Infrastrukturen sind *künstlich (cyber)* interdependent, wenn die Funktionalität einer Infrastruktur von der Datenübertragung einer anderen Infrastruktur abhängig ist. Diese Art der Abhängigkeit ist relativ neu und beispielsweise in Smart Grids zu finden.

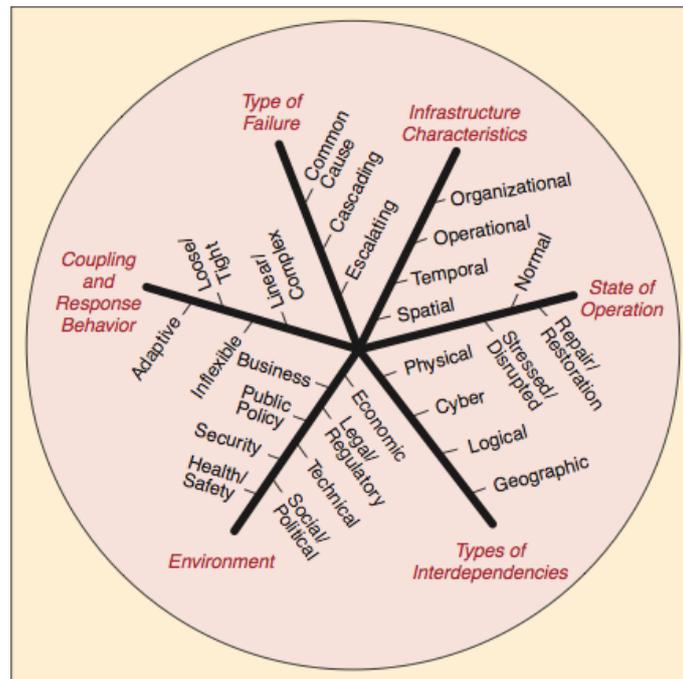


Abbildung 2.1.: Dimensionen von Abhängigkeiten zwischen kritischen Infrastrukturen

Quelle: [Rinaldi u. a. \(2001\)](#)

Zwei Infrastrukturen sind *logisch (logical)* interdependent, wenn der Zustand einer Infrastruktur von dem Zustand einer anderen Infrastruktur abhängig ist und diese Abhängigkeit über einen Mechanismus besteht, der weder materiell noch geografisch oder künstlich ist. Beispielsweise ist die Staubbildung auf Autobahnen zu Ferienzeiten wegen niedriger Benzinpreise eine logische Abhängigkeit zwischen der Treibstoff- und der Transportinfrastruktur (vgl. [Rinaldi u. a., 2001](#)).

Umgebung: Eine weitere Dimension der Abhängigkeiten zwischen Infrastrukturen stellt die Umgebung dar. Hierzu zählen Faktoren wie gesetzliche Regulationen, technologische Entwicklungen, Sicherheitsvorgaben oder das Geschäftsumfeld. Beispielsweise führt die technologische Entwicklung in einem Land zu einer Erhöhung der künstlichen Interdependenz von Infrastrukturen, oder die gesetzlichen Regelungen über die Verfügbarkeit von Notstromgeneratoren beeinflussen, wie lange eine Infrastruktur bei Ausfall der öffentlichen Stromversorgung mindestens funktionsfähig bleiben muss.

Kopplung und Reaktionsverhalten: Die Kopplung von Infrastrukturen kann entweder stark oder schwach sein und ist durch einen Kopplungsgrad und eine Komplexität charakterisiert. Zwei Infrastrukturen sind stark gekoppelt, wenn der Ausfall der einen Infrastruktur

direkte Auswirkungen auf den Betrieb der Zweiten hat. Zwei Infrastrukturen sind lose gekoppelt, wenn die Auswirkungen des Ausfalls erst nach einiger Zeit die zweite Infrastruktur beeinflussen. Ob zwei Infrastrukturen stark oder schwach gekoppelt sind, hängt in der Regel von der Größe des Puffers der abhängigen Infrastruktur für die Outputs der versorgenden Infrastruktur ab.

Der Kopplungsgrad gibt an, über wie viele Verbindungen zwei Infrastrukturen miteinander in Abhängigkeit stehen. Sei $G = (V, E)$ ein gerichteter Graph, V eine Menge von Infrastrukturen und E eine Menge geordneter Knotenpaare der direkten Abhängigkeiten jeweils zweier Infrastrukturen. Dann ist der Kopplungsgrad co zweier Infrastrukturen s und t die Distanz (Länge des kürzesten Pfades) von s nach t . $co(s, t) = d(s, t)$ mit $s, t \in V$.

Ist beispielsweise eine Infrastruktur i von einer Infrastruktur j abhängig und j besitzt wiederum eine Abhängigkeit zu k dann ist der Kopplungsgrad zwischen i und k $co(i, k) = 2$, da eine Verbindung zwischen i und j und eine Weitere zwischen j und k besteht.

Die Komplexität der Kopplung gibt an, ob es sich um eine lineare Abhängigkeit handelt oder ob Verzweigungen, Feedbackschleifen oder Sprünge von einer linearen Sequenz von Tätigkeiten zu einer anderen existieren. Im zweiten Fall handelt es sich um eine komplexe Kopplung.

Das Reaktionsverhalten bestimmt, ob sich eine Infrastruktur an den Ausfall einer abhängigen Infrastruktur anpassen kann oder nicht. Beispiele für Anpassungen sind der Umstieg auf Notstromversorgung bei Ausfall der öffentlichen Stromversorgung oder der Wechsel von einem Betriebsstoff zu einem anderen.

Infrastrukturcharakteristik: Die Charakteristik einer Infrastruktur beschreibt ihre spatiale Verteilung, die relevanten temporalen Skalen, Betriebsfaktoren sowie organisatorische Betrachtungen. Der spatiale Aufbau einer Infrastruktur beschreibt die Unterteilung einer Infrastruktur in hierarchische Unterstrukturen (vgl. [Perrow, 1984](#); [Rinaldi u. a., 2001](#)). Abbildung [A.1](#) stellt die Komponenten kritischer Infrastrukturen grafisch dar.

Ein *Teil* ist die kleinste Komponente einer Infrastruktur, die bei einer Analyse berücksichtigt werden kann. Eine *Einheit* ist eine funktionsbezogene Gruppierung von Teilen, wie beispielsweise ein Dampfkessel. *Subsysteme* sind wiederum eine Anordnung von Einheiten, wie beispielsweise die sekundäre Kühlung eines Kraftwerks. Ein *System* ist eine Gruppierung von Subsystemen, wie beispielsweise ein Atomkraftwerk. Mehrere Systeme bilden eine *Infrastruktur*, zum Beispiel die Strom-Infrastruktur. Auf der obersten Hierarchieebene stehen die interdependenten Infrastrukturen als ein Netzwerk von verzahnten Infrastrukturen unter dem Einfluss der Umwelt. Die Detailebene der Modellierung hängt von der Art der Analyse ab. Bei einer Analyse auf Systemebene werden die Systeme, Subsysteme, Einheiten und

Teile modelliert, wohingegen bei der Analyse des Zusammenspiels von Infrastrukturen die oberen Hierarchieebenen stärkere Berücksichtigung finden würden.

Die temporale Skala ist eine weitere Charakteristik einer Infrastruktur. Bei der Modellierung einer Energieversorgungsinfrastruktur passieren relevante Ereignisse im Millisekundenbereich (vgl. [Pederson u. a., 2006](#)), während bei der Modellierung der Transportinfrastruktur eine Auflösung im Stundenbereich gewählt werden würde. Der Ausbau der Infrastruktur und die Erneuerung von Anlagen spielt sich hingegen auf einer zeitlichen Skala von Jahren ab (vgl. [Rinaldi u. a., 2001](#)).

Betriebsfaktoren einer Infrastruktur charakterisieren die Eigenschaft einer Infrastruktur auf Störungen zu reagieren. Diese Faktoren sind eng mit Sicherheits- und Risikoaspekten verbunden und schließen Betriebsabläufe mit ein. Sie umfassen Ausbildung und Training des Betriebspersonals, Backup- und Redundanzsysteme, Notfallhilfsroutinen, Notfallpläne, Sicherheitsrichtlinien und deren Aktualisierung und Durchsetzung.

Organisatorische Betrachtungen berücksichtigen Aspekte wie Globalisierung, Privatbesitz versus öffentlicher Besitz, Unternehmensrichtlinien und Unternehmensmotivationen und das Regierungsumfeld. Diese Aspekte können Einfluss auf die organisatorische Charakteristik einer Infrastruktur haben und können für einige Arten von Analysen von Relevanz sein.

Ausfallart: Infrastrukturausfälle durch Interdependenzen lassen sich in drei Kategorien unterteilen: Man unterscheidet kaskadierende Ausfälle, eskalierende Ausfälle und Ausfälle auf Grund einer gemeinsamen Ursache.

Kaskadierende Ausfälle treten dann auf, wenn der Ausfall einer Infrastruktur den Ausfall einer anderen bedingt. Auf diese Weise können beliebig lange Ketten von betroffenen Infrastrukturen entstehen.

Man bezeichnet einen Infrastrukturausfall als eskalierend, wenn ein Ausfall die Auswirkungen eines anderen Infrastrukturausfalls vergrößert oder die Wiederherstellung der anderen Infrastruktur erschwert.

Ausfälle auf Grund einer gemeinsamen Ursache treten dann auf, wenn Großschadensereignisse räumlich beieinanderliegende Infrastrukturen zur gleichen Zeit beeinflussen. Ausfälle auf Grund einer gemeinsamen Ursache treten besonders im Zusammenhang mit Naturkatastrophen wie Erdbeben oder Überflutungen oder durch Terroranschläge auf.

Betriebszustand: Die sechste Dimension, welche die Abhängigkeit von Infrastrukturen beeinflusst, ist der Betriebszustand einer Infrastruktur. Die Systeme und Komponenten einer Infrastruktur können sich beispielsweise durch ungleichmäßige Auslastung, Wartung oder Notfallbetrieb in unterschiedlichen Betriebszuständen befinden. Der Betriebszustand einer

Infrastruktur beeinflusst, welche Auswirkungen Ereignisse haben und zu welchen anderen Infrastrukturen Abhängigkeiten bestehen. Im regulären Betrieb besitzt ein Krankenhaus beispielsweise eine Abhängigkeit zur Stromversorgung. Fällt die öffentliche Stromversorgung aus, ist das Krankenhaus auf Notstrom angewiesen und besitzt in diesem Fall eine Abhängigkeit zur Treibstoffversorgung für den Notstromgenerator.

Modellierungsansätze

Für die Modellierung und Simulation individueller Infrastrukturen existieren eine Vielzahl an kommerziellen Produkten, die es den Betreibern von Infrastrukturen ermöglichen, diese zu entwickeln, zu betreiben und zu verwalten. Die Modellierung und Simulation interdependenter Infrastrukturen ist im Gegensatz dazu noch nicht ausgereift und es existieren eine Vielzahl von Modellierungs- und Simulationsansätzen. Diese Ansätze unterscheiden sich in Abhängigkeit ihres Fokus und reichen von stark aggregierenden bis hin zu detaillierten und hochauflösenden Modellen. Die Modellierungsansätze lassen sich nach [Rinaldi \(2004\)](#) in sechs grobe Kategorien unterteilen. [Svendsen und Wolthusen \(2012\)](#) beschreiben zusätzlich die Modellkategorie der Interdependenz-Graphen. Diese sieben Modellierungsansätze sollen im Folgenden vorgestellt werden.

Aggregierende Angebots- und Nachfrage-Modelle: Diese Kategorie von Werkzeugen erlaubt die Untersuchung des Bedarfs von Infrastrukturdiensten und ihrer Verfügbarkeit in einer Region. Die Werkzeuge erlauben die Verknüpfung von Infrastrukturen auf Basis ihrer benötigten Güter oder Dienstleistungen anderer Infrastrukturen. Die Fähigkeit von Infrastrukturen, diese Bedarfe zu decken, kann als Indikator für die Funktionsfähigkeit benutzt werden und ermöglicht die Identifikation von Problemen für den Fall, dass Bedarfe nicht gedeckt werden können (vgl. [Rinaldi, 2004](#)). Diese Art von Modellen basiert auf dem makroökonomischen Aggregate-Supply/Aggregate-Demand Modell, welches zur Beschreibung des gesamtwirtschaftlichen Gleichgewichts in einer geschlossenen Volkswirtschaft entwickelt wurde (vgl. [Barro, 1994](#)).

Dynamische Simulationen: Dynamische Simulationen werden zur Simulation des zeitabhängigen Verhaltens von Systemen auf Grundlage von Differentialgleichungen verwendet. Bei der Analyse kritischer Infrastrukturen werden dynamische Simulationen dazu verwendet, den Betrieb der Infrastrukturen und die zeitabhängigen Auswirkungen von Störungen auf nachfolgende Infrastrukturen zu simulieren. Die Erzeugung, der Verbrauch und die Verteilung von Gütern und Infrastrukturdiensten werden als Flüsse modelliert, um sie auf Basis dynamischer Simulationen zu beschreiben. [Rosato u. a. \(2008\)](#) beschreiben beispielsweise

die Auswirkungen von Störungen im Stromnetz auf die Telekommunikationsinfrastruktur von Italien mit Hilfe interagierender dynamischer Modelle.

Agentenbasierte Modelle: Agentenbasierte Modelle werden in einem großen Spektrum von Analysen über Infrastrukturen und ihre Wechselwirkungen verwendet. Bei dieser Modellkategorie werden die physischen Komponenten von Infrastrukturen als Agenten modelliert und erlauben so die Simulation ihrer operativen Charakteristiken und ihrer Betriebszustände. Agenten können des Weiteren dazu verwendet werden, um das Verhalten von Entscheidungsträgern, Märkten und Konsumenten im Zusammenhang mit Infrastrukturen zu untersuchen.

Im Framework CIMS werden Infrastrukturelemente als Agenten modelliert, welche einen Betriebszustand besitzen und auf Basis ihrer Inputs und ihrer Verhaltensregeln Outputs erzeugen oder ihren Betriebszustand ändern (vgl. [Dudenhoeffer u. a., 2006](#)).

Physikalische Modelle: Die physikalischen Aspekte von kritischen Infrastrukturen können mit ingenieurwissenschaftlichen Techniken untersucht werden. So können für ein Elektrizitätsnetz beispielsweise Untersuchungen über den Stromfluß und die Netzstabilität durchgeführt werden, oder in Pipelinesystemen können hydraulische Analysen vorgenommen werden. Diese physikalischen Modelle können sehr detaillierte Informationen über den Betriebszustand einzelner Bestandteile einer Infrastruktur geben und so beispielsweise dazu verwendet werden, Wechselwirkungen zwischen Elektrizitätsinfrastrukturen und die Auswirkungen von Ausfällen zu beschreiben (vgl. [Rinaldi, 2004](#)).

Populationsbewegungsmodelle: Die Kategorie von Modellen legt einen Fokus auf die Bewegung von Personen und Fahrzeugen durch städtische Regionen, welche miteinander interagieren und während dieses Prozesses Infrastrukturgüter produzieren und konsumieren. Die Simulation der täglichen Routinen von Menschen kann bei Entwicklung der Transportinfrastruktur einer Stadt helfen, oder dazu dienen Evakuierungspläne zu erstellen und zu optimieren. Eine wichtige Eigenschaft dieser Modelle besteht darin, dass sie es ermöglichen, Einblicke in soziale Netzwerke und Interaktionen von Menschen zu gewinnen, was beispielsweise für die Epidemiologie von Interesse ist (vgl. [Rinaldi, 2004](#)). Ein Beispiel für ein Populationsbewegungsmodell ist das, an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften entwickelte, Multiagentensystem WALK (vgl. [Thiel-Clemen u. a., 2011](#)).

Leontief-Input-Output-Modelle: Die Leontief-Input-Output-Analyse ist ein quantitatives Verfahren der Wirtschaftsökonomie, welches dazu eingesetzt wird, die Wechselwirkungen

zwischen verschiedenen Branchen der regionalen oder nationalen Ökonomie zu untersuchen. Dieses Modell kann für die lineare, aggregierte und zeitunabhängige Analyse der Wechselwirkungen zwischen Infrastrukturen angewandt werden (vgl. [Rinaldi, 2004](#)). Es wurden jedoch auch Modellerweiterungen vorgenommen, um nicht-lineare und zeitabhängige Faktoren zu berücksichtigen (vgl. [Haimes und Jiang, 2001](#); [Setola u. a., 2012](#)). Das Modell wird in erster Linie zur Abschätzung des Beeinflussungsrisikos wechselseitig abhängiger Infrastrukturen verwendet.

Interdependenz-Graph Modelle: Diese Kategorie von Modellen stellt die Abhängigkeiten zwischen kritischen Infrastrukturen als Graph dar, wobei die Knoten die Infrastrukturkomponenten und die Kanten die Abhängigkeiten repräsentieren. Die Abhängigkeiten zwischen Infrastrukturen basieren auf den benötigten und angebotenen Gütern und Dienstleistungen, zwischen welchen differenziert werden muss. Hierfür werden in diesem Modellierungsansatz Abhängigkeitstypen verwendet. Für jeden Abhängigkeitstyp zwischen zwei Infrastrukturen ist es möglich einen Puffer und eine Reaktionsfunktion zu definieren, um die Art der Abhängigkeit zwischen den zwei Infrastrukturen genauer zu charakterisieren (vgl. [Svendsen und Wolthusen, 2012](#)).

Integrierte und gekoppelte Simulationsmodelle: Im Querschnitt zu den erläuterten Modellierungsansätzen existieren integrierte und gekoppelte Simulationsmodelle (vgl. [Pederson u. a., 2006](#)). Integrierte Ansätze versuchen mehrere interagierende Infrastrukturen in einem Modell abzubilden, wohingegen gekoppelte Modelle auf existierende Infrastrukturmodelle für individuelle Infrastrukturen zurückgreifen und versuchen diese miteinander zu verbinden. Gekoppelte Modelle sind in der Regel viel detaillierter als integrierte Modelle, die Herstellung der Verbindung zwischen den einzelnen Modellen ist bei diesem Ansatz jedoch sehr schwierig, da die Modelle unabhängig voneinander entwickelt wurden und unterschiedliche zeitliche Skalen verwenden. Modelle für die Simulation von Elektrizitätsnetzen arbeiten meist im Millisekunden-Bereich, wohingegen Modelle von Transportinfrastrukturen eine zeitliche Auflösung von Minuten oder Stunden besitzen. Ein Ansatz besteht darin, die Simulationen über standardisierte Schnittstellen für den Informationsaustausch verteilter Simulationen zu verbinden. Hierfür existieren beispielsweise der *High Level Architecture (HLA)* und der *Distributed Interactive Simulations (DIS)* Standard (vgl. [Pederson u. a., 2006](#)).

Herausforderungen bei der Analyse

Die größte Herausforderung bei der detaillierten Analyse von Wechselwirkungen zwischen kritischen Infrastrukturen besteht in der Beschaffung der benötigten Daten über die kritischen Infrastrukturen. Zur Simulation der genauen Funktionsweise von kritischen Infrastrukturen

sind Informationen über die Betriebs- und Notfallprozesse erforderlich, welche eine hohe Sensibilität besitzen und deshalb nicht in die falschen Hände geraten dürfen. Da die meisten kritischen Infrastrukturen in privater Hand sind, sind diese Informationen verteilt und nicht an einer zentralen Stelle verfügbar (vgl. [Rinaldi, 2004](#)). Die Speicherung dieser Informationen an einem Ort würde den Datenspeicher zu einem Prioritätsziel für den Angriff von Hackern, Terroristen und ausländischen Geheimdiensten machen. Zudem wäre die kontinuierliche Aktualisierung dieser Informationen eine zeitintensive Aufgabe (vgl. [Rinaldi u. a., 2001](#)).

2.2. Katastrophenmanagement und Krisenstabsarbeit

Der Schutz der Bevölkerung eines Landes vor Krisen und Katastrophen ist eine wichtige Aufgabe der staatlichen Daseinsvorsorge. In Ländern mit föderalistischem Verwaltungssystem, wie Deutschland, liegt die Verantwortung für den Katastrophenschutz bei den Kreisen und kreisfreien Städten. Der Bund hat bei Krisen innerhalb eines Bundeslandes keine Kompetenzen, unterstützt aber die örtliche Gefahrenabwehr unter anderem mittels Bundespolizei, Technischem Hilfswerk, Bundeswehr und Weiterbildungsmaßnahmen. Bei bundeslandübergreifenden Schadenslagen ist der Bund weisungsbefugt, wenn dies für die Gefahrenabwehr notwendig ist (vgl. [Gahlen und Kranaster, 2008](#)).

2.2.1. Katastrophenmanagement-Zyklus

Das deutsche Katastrophenmanagement besteht aus den vier Elementen Vorsorge, Bewältigung, Wiederherstellung und Vermeidung (siehe Abbildung 2.2). Im folgenden sollen diese vier Elemente auf Basis von [Carter \(1991\)](#) erläutert werden. In den folgenden Abschnitten wird dann näher auf die Bewältigung von Katastrophen unter der Führung von Krisenstäben eingegangen.

Das Element der Katastrophenvorsorge beinhaltet alle Aktivitäten, welche in Vorbereitung auf eine mögliche Katastrophenlage durchgeführt werden. Hierzu zählen unter anderem die Erstellung und Aktualisierung von Notfall- und Evakuierungsplänen, der Betrieb von Frühwarnsystemen, oder die Ausbildung und Vorbereitung von Einsatzkräften und der Bevölkerung. Auch die Analyse der kritischen Infrastruktur auf ihre Anfälligkeit gegenüber Schadensereignissen fällt in diesen Tätigkeitsbereich. Auf das Verwundbarkeitsassessment kritischer Infrastrukturen wird in Abschnitt 2.2.3 näher eingegangen.

Die Katastrophenbewältigung findet unmittelbar vor und nach dem Eintritt einer Krise statt. Die Katastrophenbewältigung umfasst alle Aktivitäten, die erforderlich sind, um die Bevölkerung und ihren Besitz vor Schaden zu bewahren sowie den unmittelbaren Störungen und Schäden durch ein Katastrophenereignis entgegenzuwirken. Hierzu zählen unter anderem

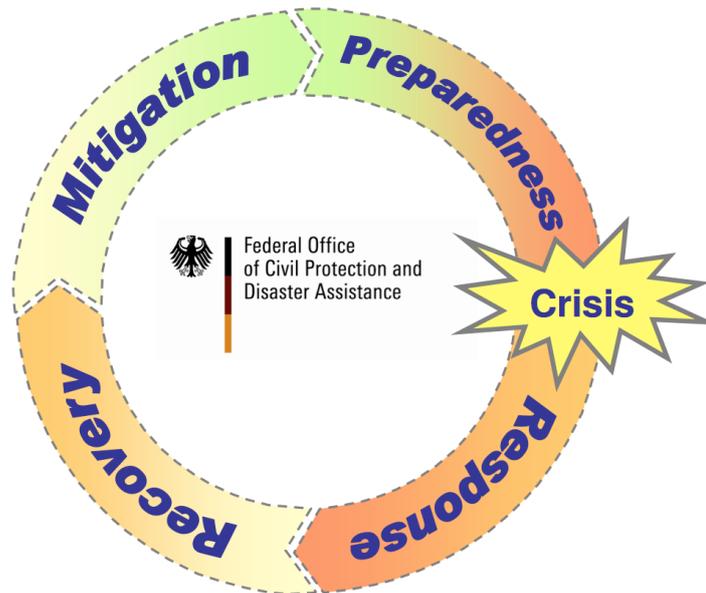


Abbildung 2.2.: Zyklus der Aufgaben des Katastrophenmanagements
Quelle: BBK

die Durchführung von Notfall- und Evakuierungsplänen, die Aktivierung des Katastrophenschutzes, die Durchführung von Such- und Rettungsmaßnahmen sowie die Versorgung der betroffenen Bevölkerung mit Notunterkünften, Verpflegung und medizinischer Hilfe.

In der Wiederherstellungsphase unterstützt der Katastrophenschutz bei der Wiederherstellung des Zustandes vor Eintritt der Katastrophe. Hierzu zählen die Reparatur und der Wiederaufbau von Gebäuden, Einrichtungen und Infrastruktur, die Bereitstellung vorübergehender Unterkünfte und die langfristige medizinische und psychologische Betreuung betroffener Personen.

Das Element der Vermeidung umfasst die Aufbereitung der Erfahrungen vergangener Katastrophen mit dem Ziel, deren erneuten Eintritt zu verhindern oder ihre Auswirkungen abzuschwächen. Beispiele sind die Aktualisierung und Durchsetzung von Bauvorschriften, die Anpassung der Flächennutzung, die Aufstellung und Aktualisierung von Richtlinien für den Umgang mit gefährlichen Substanzen oder die Weiterentwicklung der kritischen Infrastruktur.

2.2.2. Krisenstäbe

Das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) definiert eine Katastrophe als ...

...ein Geschehen, bei dem Leben oder Gesundheit einer Vielzahl von Menschen oder die natürlichen Lebensgrundlagen oder bedeutende Sachwerte in so ungewöhnlichem Ausmaß gefährdet oder geschädigt werden, dass die Gefahr nur abgewehrt oder die Störung nur unterbunden und beseitigt werden kann, wenn die im Katastrophenschutz mitwirkenden Behörden, Organisationen und Einrichtungen unter einheitlicher Führung und Leitung durch die Katastrophenschutzbehörde zur Gefahrenabwehr tätig werden [BBK-Glossar \(2012\)](#).

Die einheitliche Führung und Leitung bei der Deeskalation einer Krisensituation wird durch die Einrichtung von Krisenstäben erzeugt. Es wird zwischen operativ- taktischen und administrativ- organisatorischen Krisenstäben unterschieden (vgl. [FwDV100, 1999](#)). Der administrativ- organisatorische Krisenstab, auch Verwaltungsstab genannt, kümmert sich um Verwaltungsangelegenheiten, für die Einsatz- und Führungskräfte auf Grund rechtlicher, finanzieller oder politischer Bestimmungen nicht zuständig sind. Beispiele hierfür sind die Entscheidung über die Evakuierung von Wohngebieten, Gesundheits- und Hygienevorsorge oder die Eigentumssicherung.

Operativ- taktische Krisenstäbe sind für die Koordinierung der technisch- taktischen Maßnahmen zuständig. Beispiele hierfür sind die Bildung des Einsatzschwerpunktes, die Ordnung des Raumes (Abschnittsbildung), die Ordnung der Kräfte (Bereitstellen von Einsatzkräften und Reserven im Einsatzraum), die Ordnung der Zeit (Reihenfolge von Maßnahmen, Ablösen von Einsatzkräften durch Reserven) und die Ordnung der Information (Aufbau und Betrieb einer Kommunikationsstruktur) (vgl. [FwDV100, 1999](#)).

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit liegt der Fokus auf den operativ- taktischen Krisenstäben, die zugunsten einer besseren Lesbarkeit ausschließlich als Krisenstäbe bezeichnet werden. Im folgenden Abschnitt soll der Aufbau von Krisenstäben erläutert werden. Im Anschluss wird dann näher auf die Darstellung von Lagen in Krisenstäben und den Prozess der Krisenbewältigung eingegangen.

Aufbau von Krisenstäben

Der Aufbau von Krisenstäben unterscheidet sich von Bundesland zu Bundesland geringfügig. An dieser Stelle soll der Aufbau von Krisenstäben gemäß der [FwDV100 \(1999\)](#) erläutert werden, welcher auch bei Krisenstabsübungen der Akademie für Krisenmanagement, Notfallplanung und Zivilschutz (AKNZ) Anwendung findet. Ein Krisenstab untergliedert sich in Abhängigkeit der Größe und Art der Schadenslage in vier bis sechs Sachgebiete. [Abbildung 2.3](#) stellt die Untergliederung eines Krisenstabes in Sachgebiete grafisch dar.

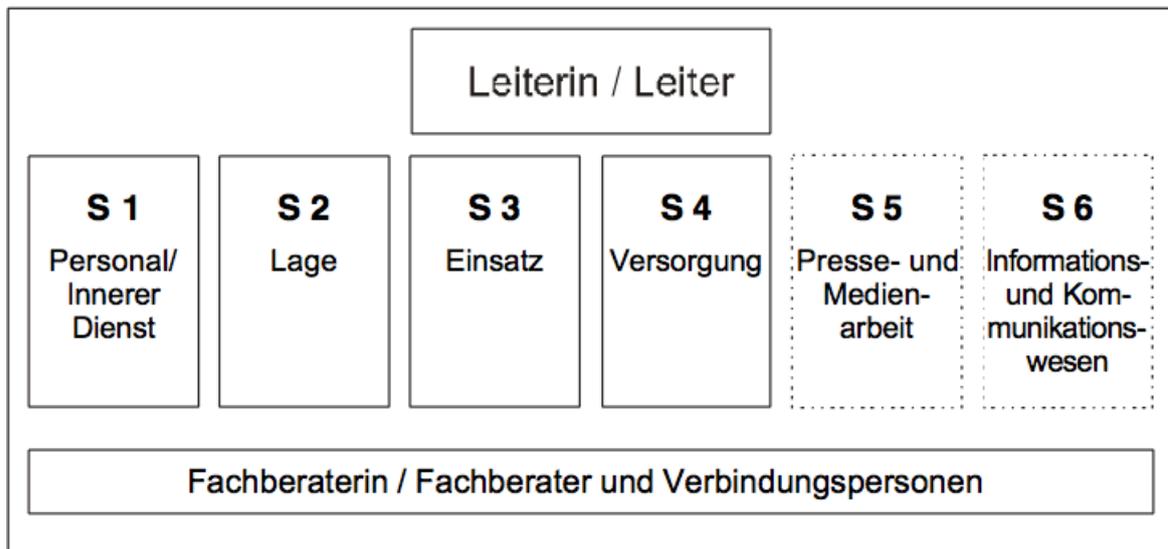


Abbildung 2.3.: Aufbau von Krisenstäben nach FwDV100

Quelle: [FwDV100 \(1999\)](#)

S1 - Personal und Innerer Dienst: Die Tätigkeit dieses Sachgebietes unterteilt sich in zwei Tätigkeitsfelder: Die Bereitstellung von Einsatzkräften und die Führung des Inneren Stabsdienstes. Eine der wichtigsten Tätigkeiten dieses Sachgebietes besteht in der rechtzeitigen Alarmierung von Einsatzkräften in der benötigten Stärke, Ausbildung und Ausrüstung. Für den Fall, dass keine weiteren Einsatzkräfte verfügbar sind, können interne oder externe Hilfskräfte rekrutiert werden. Ist für die Deeskalation der Krisenlage die Zusammenarbeit mit Fachleuten, Behörden oder Organisationen wie dem THW notwendig, ist dieses Sachgebiet für die Anforderung dieser Kräfte verantwortlich. Alarmierte und angeforderte Einheiten, welche noch nicht in den Einsatz gehen können oder als Reserve dienen, werden in Bereitstellungsräumen vorgehalten. Die Einrichtung dieser Räume liegt auch in der Verantwortung dieses Sachgebietes. Es ist zudem für die Erstellung und Aktualisierung einer Übersicht aller Kräfte und zugehöriger Informationen, wie Stärke, Ausrüstung, Status und Einsatzdauer zuständig.

Der zweite Tätigkeitsbereich des Sachgebiets Personal und Innerer Dienst besteht in der Leitung des Inneren Dienstes des Krisenstabes und der Sicherstellung des Geschäftsablaufes. Hierzu zählen die Erstellung von Schichtplänen für die Stabsmitarbeiter, die Verpflegung des Stabes sowie die Organisation von Räumen und Ausrüstung.

S2 - Lage: Die Hauptaufgabe des Sachgebietes 2 besteht in der Sammlung, Prüfung, Aufbereitung und Bereitstellung von Informationen zur Lage. Informationen werden von den Einsatzkräften vor Ort angefordert. Reichen diese nicht aus, so kann das Sachgebiet Erkunder

einsetzen, um die benötigten Informationen zu beschaffen. Alle eingehenden Informationen werden auf Korrektheit überprüft und dann so aufbereitet, dass sie vom gesamten Krisenstab schnell aufgefasst werden können. Hierfür bietet sich die Erstellung und Aktualisierung einer Lagekarte an. Eine nähere Beschreibung der Lagedarstellung erfolgt im nächsten Abschnitt.

Das Sachgebiet Lage dokumentiert alle Lageinformationen in einem Einsatztagebuch und präsentiert dem Krisenstab die Lageentwicklung in regelmäßigen Lagebesprechungen. In dringenden Fällen informiert das Sachgebiet den Leiter des Stabes oder das Sachgebiet Einsatz direkt über die Lageentwicklung, um die Reaktionszeit des Krisenstabes zu beschleunigen. Dringende Fälle sind insbesondere solche Lageentwicklungen, die zu einer Verschlechterung der Situation führen, oder durch welche Menschenleben gefährdet sind.

S3 - Einsatz: Das Sachgebiet Einsatz entwickelt auf Basis der Lageinformationen des Sachgebietes 2 eine Einsatztaktik für die Einsatzplanung und Einsatzdurchführung. Die Entwicklung einer Einsatztaktik erfordert viel Erfahrung, da Wissen über mögliche Lageentwicklungen zur Einsatzplanung notwendig sind.

Auf Basis der Einschätzung über die Lageentwicklung entwickelt das Sachgebiet einen Einsatzplan. Dieser legt die Einsatzziele und Schwerpunkte, die Führungsorganisation, die Raumordnung sowie die Einteilung der Kräfte fest. Nach der Genehmigung des Einsatzplans durch den Stabsleiter setzt das Sachgebiet den Einsatzplan in Befehle um und überprüft diese auf die beabsichtigte Wirksamkeit der Maßnahmen.

S4 - Versorgung: Das Sachgebiet Versorgung ist für die Beschaffung und Verwaltung aller Güter und Dienstleistungen für die Versorgung der Einsatzkräfte verantwortlich. Hierzu zählen Betriebsmittel, Verpflegung, Material, Spezialwerkzeuge, Spezialfahrzeuge und Maschinen sowie die Organisation der Unterbringung und Sanitätseinrichtungen für die Einsatzkräfte. Erfordert der Einsatz die Evakuierung von Teilen der Bevölkerung, so muss das Sachgebiet auch deren Unterbringung, Verpflegung und sanitäre Versorgung organisieren.

An der Abarbeitung von größeren Schadenslagen sind meist sehr viele Einsatzkräfte beteiligt, was die Beschaffung von großen Mengen an Bedarfsgütern erfordert. Dies erfordert unter Umständen eine große Vorlaufzeit und muss deshalb so früh wie möglich geschehen, um eine kontinuierliche und ausreichende Versorgung sicherzustellen.

S5 - Presse- und Medienarbeit: Katastrophen und Großschadenslagen können eine Vielzahl von Bürgern betreffen, welche gezielt informiert werden müssen. Hierzu muss die Fülle an Informationen des Sachgebiets 2 auf ihre Relevanz für die Öffentlichkeit überprüft und in Form von Presse- und Medieninformationen aufbereitet werden.

Eine weitere Aufgabe des Sachgebiets besteht im Monitoring der öffentlichen Berichterstattung, um auf Fehlinformationen mit Gegendarstellungen oder Korrekturen zu reagieren. Das Sachgebiet ist außerdem für die Vorbereitung von Pressekonferenzen sowie die Veranlassung und Betreuung von Informationstelefonen verantwortlich.

S6 - Informations- und Kommunikationswesen: Das Sachgebiet 6 ist für die Planung des Informations- und Kommunikationseinsatzes verantwortlich. Zur gezielten Deeskalation einer Krisensituation ist es erforderlich, dass alle an der Krisenbekämpfung beteiligten Parteien wie Krisenstab, technische Einsatzleitungen und Einsatzkräfte Informationen, Meldungen und Befehle untereinander austauschen können.

Das Sachgebiet Informations- und Kommunikationswesen richtet die hierfür benötigte Kommunikationsinfrastruktur ein und sorgt für deren ausfallsicheren Betrieb. Zu den Aufgaben des Sachgebiets zählen unter anderem die Verwaltung und Zuweisung von Kommunikationsfrequenzen und Kanälen, Einrichtung von redundanten Ersatzstrukturen sowie die Erarbeitung eines Kommunikationsplanes.

Lagedarstellung in Krisenstäben

Im Verlauf einer Katastrophe oder Schadenslage sammelt sich eine Flut an Informationen im Krisenstab an. Aufgabe der Lagedarstellung ist es, die aktuellsten Informationen, welche für den gesamten Krisenstab von Relevanz sind, so aufzubereiten, dass sie schnell erfasst werden können. Hierfür eignen sich besonders visuelle Darstellungen, da diese vom Menschen schneller erfasst werden können als rein textuelle Beschreibungen. Im Bevölkerungsschutz hat sich die Lagedarstellung mittels einer Lagekarte bewährt (siehe Abbildung 2.4).

Die Lagekarte ist das zentrale Führungsinstrument jeden Stabes. Sie enthält alle relevanten Informationen über die aktuelle Krisenlage und dient der sinnvollen Beurteilung einer Krise sowie als Basis für Entscheidungen zur Umsetzung von Aktivitäten und Maßnahmen zur Schadensminderung. Eine Lagekarte besteht aus einer Kartenansicht oder mehreren Kartenansichten des betroffenen Gebietes, einer Visualisierung der Schadensorte und Gefahrenbereiche (Schadenskonten) und einer Kräfteübersicht. Auf diese Weise gibt sie Aufschluss über die Art, den Umfang und die Abläufe der Ereignisse, die Auswirkungen und mögliche Entwicklungen der Lage, die Möglichkeiten der Reaktion sowie die bereits ergriffenen Maßnahmen (vgl. [KRITIS-Schutz, 2011](#)).



Abbildung 2.4.: Beispiel einer Lagekarte im Krisenstab
Quelle: AKNZ

Prozess der Krisenbewältigung

Nach der Einberufung eines Krisenstabes beginnt dieser mit den Tätigkeiten zur Krisenbewältigung. Der gesamte Krisenstab arbeitet in einem gemeinsamen Krisenstabsraum. Auf diese Weise wird die Zusammenarbeit der einzelnen Sachgebiete gefördert und es wird sichergestellt, dass wichtige Informationen alle Mitglieder erreichen.

Die Bewältigung von Katastrophen und Großschadenslagen erfolgt in einem Kreislauf aus den vier Phasen Lagefeststellung, Lagebeurteilung, Entscheidung / Maßnahmenumsetzung und Kontrolle (vgl. KRITIS-Schutz, 2011). Abbildung 2.5 stellt diesen Kreislauf grafisch dar.

Die Phase der Lagefeststellung besteht aus der Sammlung und Aufbereitung von Informationen (vgl. Abschnitt [Lagedarstellung in Krisenstäben](#)). Existiert ein Überblick über die Lage, erfolgt im nächsten Schritt die Lagebeurteilung. Die Lagebeurteilung wird federführend vom Sachgebiet Einsatz durchgeführt. Das Sachgebiet prognostiziert in dieser Phase auf Basis von Erfahrungswerten und Expertenmeinungen eine wahrscheinliche Lageentwicklung. Die prognostizierte Lageentwicklung dient als Grundlage für die Entwicklung von Strategien, Handlungsoptionen und den damit verbundenen Maßnahmen. Die unterschiedlichen Handlungsoptionen werden aufbereitet und im Anschluss dem Krisenstabsleiter zur Entscheidung vorgelegt. Der Krisenstabsleiter trifft in der dritten Phase die Entscheidung für eine Handlungsoption. Dies geschieht unter Berücksichtigung der festgelegten Ziele und Prioritäten.

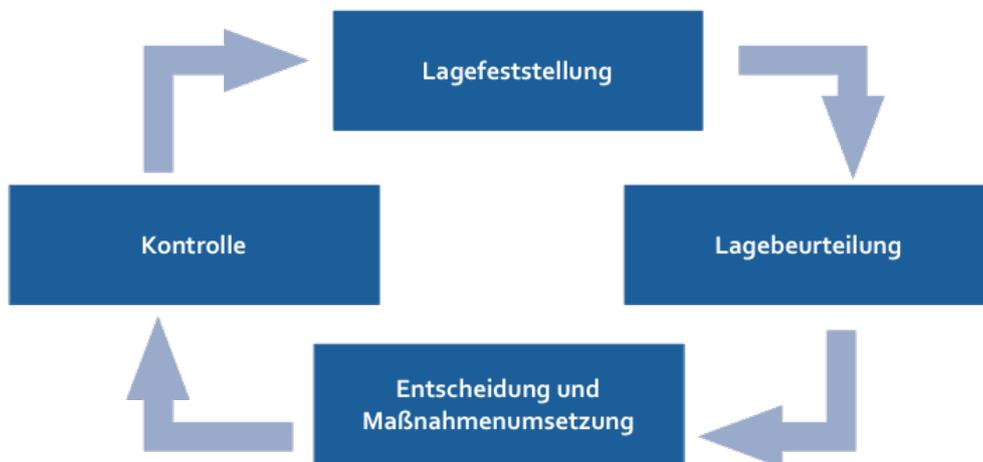


Abbildung 2.5.: Kreislauf für die Bewältigung von Katastrophen und Großschadenslagen
Quelle: nach KRITIS-Schutz (2011)

Die ausgewählte Handlungsoption wird in Anweisungen und Befehle zur Maßnahmenumsetzung überführt und kommuniziert.

Im Rahmen der Kontrollphase wird überprüft, ob die Anweisungen und Befehle des Krisenstabes die zuständigen Stellen erreicht haben, korrekt verstanden und umgesetzt wurden und ihre prognostizierte Wirkung erzielen. Die Umsetzung der Maßnahmen beeinflusst die Lageentwicklung und geht in die Lagefeststellung ein. Hiermit schließt sich der Kreislauf und die nächste Iteration beginnt.

Die Iterationen des Kreislaufes lassen sich wiederum in die Initial-, die Aufhol- und die Stabilisierungsphase unterteilen (vgl. [Vemmer, 2004](#), S.85ff). In der Initialphase, auch Chaosphase genannt, werden alle benötigten Strukturen aufgebaut, die der Krisenstab für seine Arbeit benötigt. Diese Phase zeichnet sich durch einen erheblichen Mangel an Informationen aus, da diese erst zusammengetragen und aufbereitet werden müssen. Die Länge der Kommunikations- und Befehlswege sowie die zum Teil erhebliche Zeit zwischen Anforderung und Bereitstellung von Einsatzkräften und Ressourcen erfordert eine frühzeitige Initiative. Aus diesem Grund müssen schon in der Initialphase trotz des Informationsmangels wichtige Entscheidungen getroffen werden. Grundlage für diese Entscheidungen bilden in erster Linie die Erfahrungen des Krisenstabes mit vergleichbaren Schadenslagen. In dieser Phase muss der Krisenstab auf eingehende Informationen über Ereignisse reagieren. Sein Hauptziel besteht in dieser Phase darin, so viele Informationen zu sammeln, dass die Lagebeurteilung den Wechsel von reagierender zu agierender Maßnahmen einleitung ermöglicht.

Der Krisenstab erreicht die Aufholphase, wenn sich die Strukturen im Krisenstab etabliert haben und die verfügbaren Informationen eine gesamtheitliche Beurteilung der Schadenslage ermöglichen. Der Krisenstab muss bei der Ergreifung von Maßnahmen immer bedenken, dass die Lagedarstellung auf Grund der Latenz über die Kommunikationshierarchie nicht aktuell sein muss. Die Prognose einer Lageentwicklung ermöglicht dem Krisenstab die Lage vor Ort abzuschätzen. Es müssen Maßnahmen für Ereignisse eingeleitet werden, die sich erst in der Zukunft ereignen, damit der entsprechende Befehl die ausführenden Einsatzkräfte über die Kommunikationshierarchie zur richtigen Zeit erreicht. Je besser der Krisenstab die Lageentwicklung prognostizieren kann, desto eher kann er die richtigen Maßnahmen einleiten, was den Erfolg der Krisenbewältigung entscheidend beeinflusst. Die Phase, in welcher der Krisenstab agierend die Lage durch frühzeitige und angemessene Maßnahmen bekämpft, wird als Stabilisierungsphase bezeichnet.

2.2.3. Verwundbarkeitsassessment kritischer Infrastrukturen

Die Versorgung mit wichtigen Gütern und Infrastrukturdiensten, wie beispielsweise die Versorgung mit Wasser und Strom, sind insbesondere für das staatliche Gemeinwesen von zentraler Bedeutung. Den Besitz und Betrieb kritischer Infrastrukturen teilen sich der Staat sowie private Infrastrukturbetreiber, welche gemeinschaftlich für die Reduzierung der Verwundbarkeit dieser kritischen Infrastrukturen verantwortlich sind. Die Verantwortung für eine Gewährleistung der Versorgungssicherheit liegt bei den Kommunen. Der erste Schritt bei der Reduzierung der Verwundbarkeit besteht in der Durchführung einer Analyse, um zu bestimmen, welche kritischen Infrastrukturen gegen welche Arten von Ereignissen anfällig sind. Das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe unterstützt die Kommunen durch die Erstellung von Leitfäden bei ihrer Arbeit. Im Folgenden soll das Vorgehen bei einem kommunalen Verwundbarkeitsassessment von kritischen Infrastrukturen nach [BBK-PraxisBS4 \(2010\)](#) näher erläutert werden. Diese Aktivitäten können dem Element der Katastrophenvorbereitung des Katastrophenmanagement-Zyklus zugeordnet werden.

Der erste Schritt des Verwundbarkeitsassessments besteht darin, ein konkretes Szenario zu erstellen. Ein Beispiel für ein Szenario wäre der Eintritt eines Hochwasserereignisses in einer bestimmten Region. Je wahrscheinlicher der tatsächliche Eintritt des Beispielszenarios ist, desto wertvoller sind die Erkenntnisse aus dem Assessment.

Im zweiten Schritt werden alle Infrastrukturkomponenten ermittelt, welche sich im Gebiet der Kommune befinden. Hierfür müssen Erkundigungen über die Komponenten bei den entsprechenden Infrastrukturbetreibern eingeholt werden. Jede Infrastrukturkomponente erfüllt eine spezifische Aufgabe im Gesamtversorgungsprozess, wie beispielsweise die Stromerzeugung oder die Umspannung von Strom. Auch diese Informationen werden vom Infrastrukturbetreiber benötigt.

Im dritten Schritt wird überprüft, wo sich die einzelnen Komponenten befinden und ob sie im Ereignisgebiet des Beispielszenarios liegen. Infrastrukturkomponenten im Ereignisgebiet sind gegenüber dem Ereignis exponiert und damit grundsätzlich ausfallgefährdet. Im Fall von Hochwasserereignissen wird nur berücksichtigt, ob sich eine Komponente im Überflutungsgebiet befindet oder nicht. Andere Faktoren wie der Pegelstand oder die Strömungsgeschwindigkeit werden bei einem Assessment zumeist nicht herangezogen, da diese Daten nicht überall verfügbar sind. Somit wäre das Assessment nicht flächendeckend anwendbar.

Der vierte Schritt beinhaltet die Überprüfung der betroffenen Komponenten auf ihre Funktionsanfälligkeit gegenüber dem Ereignis des Beispielszenarios. Im Fall, dass keine genaueren Informationen über die Funktionsbeeinträchtigung der Komponente vorliegen, kann bei Hochwasserereignissen davon ausgegangen werden, dass alle Komponenten, die der Stromversorgung dienen, nicht in Funktion sind (vgl. [BBK-PraxisBS4, 2010](#)).

Im fünften und sechsten Schritt muss für alle Komponenten, die vom Ausfall gefährdet sind, überprüft werden, ob ihre Leistung technisch und organisatorisch von anderen Komponenten übernommen werden kann. Für den Fall, dass keine genaueren Informationen zu erhalten sind, muss davon ausgegangen werden, dass die von der Komponente erbrachte Leistung vollständig ausfällt.

Auf Basis der Lage der Komponenten, ihrer Exposition beziehungsweise Funktionsanfälligkeit gegenüber dem Ereignis und ihrer Ersetzbarkeit, werden die Komponenten in Verwundbarkeitsklassen unterteilt. In der zweiten Phase des Assessments wird die Klasseneinteilung auf Basis funktionaler Abhängigkeiten zwischen den Komponenten angepasst.

2.3. Wissensmanagement und semantische Datenrepräsentation

In diesem Abschnitt wird zunächst eine kurze Einführung in das Wissensmanagement gegeben. Im Anschluss wird dann die semantische Datenrepräsentation mit Hilfe von Ontologien erläutert.

2.3.1. Wissensmanagement

Wissen wurde Anfang diesen Jahrhunderts als der zentrale Erfolgsfaktor von Unternehmen identifiziert, welcher den Wert eines Unternehmens oft sehr viel stärker beeinflusst als sein vorhandenes Sacheigentum (vgl. [Staab, 2002](#)). Das Wissen eines Unternehmens liegt jedoch nicht an einer zentralen Stelle, sondern setzt sich aus dem spezifischen Fachwissen

seiner Mitarbeiter zusammen. Die Wissensverteilung im Unternehmen sowie der Umgang mit Fluktuation sind nur einige der Probleme, denen sich ein Unternehmen widmen muss, um im Wettbewerb mit seinen Konkurrenten zu bestehen.

Als Wissensmanagement bezeichnet man die Prozesse, die ein Unternehmen durchführt, um sein Unternehmenswissen zu verwalten. Horwitsch und Armacost nennen in ihrer Definition von Wissensmanagement als Prozesse

„[...] the creation, extraction, transformation and storage of the correct knowledge and information in order to design better policy, modify action and deliver results“ (vgl. [Horwitsch, 2002](#)).

Der Wissenstransformationsprozess

Eine besondere Herausforderung beim Wissensmanagement besteht darin, das Wissen der Angestellten zu extrahieren und in einer geeigneten Weise zu formalisieren, damit es gespeichert, wiedergefunden und anschaulich visualisiert werden kann. Nach Nonaka und Takeuchi wird zwischen explizitem und implizitem Wissen unterschieden (vgl. [Nonaka und Takeuchi, 1995](#)). Explizites Wissen ist seinem Besitzer bewusst und kann beispielsweise durch Verschriftlichung weitergegeben werden. Im Gegensatz dazu ist implizites Wissen individuell und kontextspezifisch und daher nur sehr schwer zu formalisieren.

Um Wissen der beiden Formen auszutauschen und in die jeweils andere Form zu konvertieren, beschreiben Nonaka und Takeuchi einen kreativen Prozess durch Externalisierung, Kombination, Internalisierung und Sozialisierung (siehe Abbildung 2.6). Im Folgenden soll auf diese vier Unterprozesse näher eingegangen und die Möglichkeiten einer Unterstützung durch IT-Systeme nach [Staab \(2002\)](#) aufgezeigt werden.

Bei der *Sozialisierung* erfolgt die Vermittlung von implizitem Wissen von Mensch zu Mensch. Das implizite Wissen wird hierbei durch Beobachten, Nachahmen und Üben weitergegeben. Ein Beispiel für die Vermittlung von implizitem Wissen ist das Lernen eines Musikinstrumentes. Das Lernen eines Musikinstrumentes erfolgt meist im Rahmen von Musikunterricht, bei welchem ein Lehrer bestimmte Techniken präsentiert, welche von den Schülern nachgeahmt werden. In der Übungsphase kontrolliert der Lehrer die Abläufe der Schüler und macht Verbesserungsvorschläge. Das Spielen eines Musikinstrumentes kann nicht durch reines Literaturstudium erlernt werden, da es sich hierbei um koordinative Abläufe handelt, welche von Menschen in ihrer Gesamtheit nicht verbalisiert werden können.

Der Prozess der Sozialisierung kann nicht aktiv durch IT-Systeme unterstützt werden. Eine passive Unterstützung, welche durch IT-Systeme bereitgestellt werden kann, besteht in der Identifikation und Lokalisierung von Wissensträgern durch Expertenverzeichnisse oder die Bereitstellung von synchroner Kommunikation.

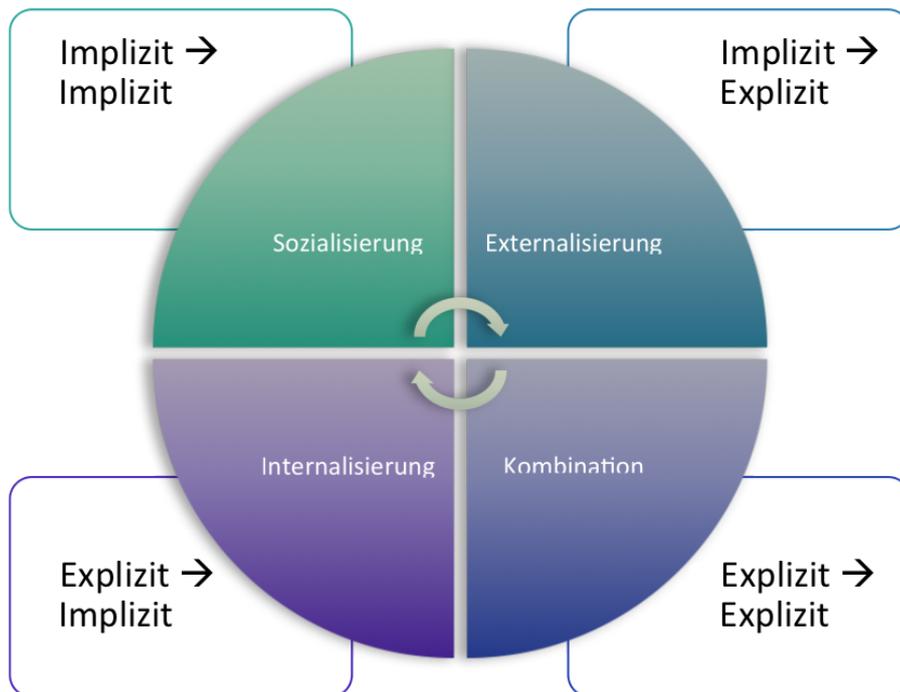


Abbildung 2.6.: Wissenstransformationsprozess
Quelle: nach Nonaka und Takeuchi (1995)

Die *Externalisierung* beschreibt den Prozess, bei welchem implizites Wissen durch Abstraktion formalisiert und damit explizit wird. Ein Beispiel für die Externalisierung von Wissen ist die Formulierung von Architekturrichtlinien auf Basis der gesammelten Projekterfahrungen. Damit das externalisierte Wissen anderen Menschen zur Verfügung gestellt werden kann, ist die Speicherung in beispielsweise Dokumentenmanagement-Systemen erforderlich. Die Dokumente werden meist mit Metainformationen angereichert, damit sie wiedergefunden werden können. Für eine automatisierte Auswertung der Informationen reicht die Annotation von unstrukturiertem Text mit Metainformationen nicht aus, sondern die Informationen müssen strukturiert gespeichert werden. Hierauf wird im nächsten Abschnitt näher eingegangen.

Bei der *Kombination* wird aus explizitem Wissen durch Rekombination neues explizites Wissen erzeugt. Techniken wie OLAP oder Data Mining können hierfür als Hilfsmittel eingesetzt werden. Speichert man die Informationen strukturiert, so hat man zusätzlich die Möglichkeit durch intelligentes Schlussfolgern neues explizites Wissen abzuleiten. Auch auf diesen Punkt wird im nächsten Abschnitt näher eingegangen.

Internalisierung wird der Prozess genannt, bei welchem durch die Lektüre und das Anwenden von explizitem Wissen implizites Wissen aufgebaut wird. Die Schwierigkeiten in diesem Prozess bestehen zum einen im Auffinden der benötigten Informationen und zum anderen im Verstehen und Übertragen der Information auf die entsprechende Problemstellung. Hilfestel-

lungen beim Auffinden der benötigten Informationen können IT-Systeme, durch das Anbieten von Information Retrieval und Browsing Funktionalität, anbieten. Des Weiteren können geeignete Visualisierungen das Verständnis der abgerufenen Informationen erleichtern.

Um Wissensmanagement durch IT-Systeme unterstützen zu können, muss das Wissen in Form einer Wissensbasis verfügbar gemacht werden. Im folgenden Abschnitt soll die Möglichkeit der strukturierten Datenspeicherung mit Hilfe von Ontologien beschrieben werden.

2.3.2. Semantische Datenrepräsentation mit Ontologien

Das Haupteinsatzgebiet von Computern besteht in der Verarbeitung und Verwaltung von Daten. Daten sind Angaben wie Zahlen, Wörter und Texte, deren Verarbeitung nur mit Wissen über deren Bedeutung möglich ist. Dies ist im Großteil heutiger Anwendungen implizit in der Programmlogik enthalten und macht eine Wiederverwendung der Daten in anderem Kontext nahezu unmöglich. Für die Verwaltung von Wissen müssen aus diesem Grund Anstrengungen unternommen werden, welche über eine reine Datenverwaltung hinausgehen.

Semiotik

Die Wissenschaft der Bedeutung von Zeichen wird Semiotik genannt. Die moderne Semiotik, welche auf den Theorien von Charles Sanders Peirce aufbaut (vgl. [Peirce u. a., 2000](#)), unterscheidet zwischen Syntax, Semantik und Pragmatik. Die Syntax beschreibt den formalen Aufbau einer Zeichenfolge, also die Beziehung der Zeichen untereinander. Die Zeichenfolge *11:14* ist beispielsweise eine syntaktisch korrekte Zeitangabe und lässt vermuten, dass es sich bei der Zeichenfolge um die Benennung eines Zeitpunktes handelt. Bei der Zeichenkette *25:00* ist diese Annahme nicht korrekt. Vielmehr lässt sie auf eine Dauer schließen. Die Kenntnis über die Syntax hilft dabei, die Semantik einer Zeichenfolge zu verstehen.

Bei der Semantik handelt es sich um die Beziehung einer Zeichenkette und ihrer Bedeutung. Die konkrete Semantik einer Zeichenkette ergibt sich meist erst aus dem Zusammenhang, in welchem diese verwendet wird. Die Aussage *„Wir treffen uns heute erst um 11:14 Uhr“*, oder *„Die Zubereitung des Essens dauert mindestens 25:00 Minuten“* gibt Aufschluss darüber, welche Semantik gemeint ist.

Zusätzlich ermöglichen es die Aussagen pragmatische Interpretationen durchzuführen. Eine pragmatische Interpretation erlaubt es, Informationen über den Benutzer einer Zeichenkette abzuleiten. So könnte man über den Urheber der ersten Aussage die Interpretation anstellen, dass man sich öfters mit dem Urheber trifft und diese Treffen meistens vor 11:14 Uhr statt finden. Außerdem hat der Urheber der zweiten Aussage das Essen vermutlich selber schon einmal zubereitet.

Das Semiotische Dreieck

Eine Zeichenkette wird in der Semiotik auch Symbol genannt. Ein Modell, welches die Beziehungen zwischen einem Symbol, seiner Semantik und seinem Bezug zur Realität herstellt, ist das Semiotische Dreieck (Abbildung 2.7).

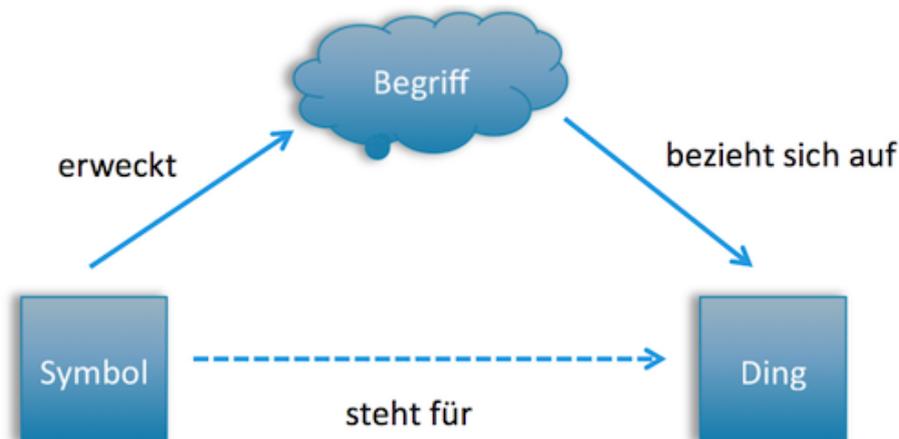


Abbildung 2.7.: Semiotisches Dreieck

Quelle: nach (Dengel, 2012)

Jedes Ding der realen Welt wird durch einen Menschen mittels eines Begriffes auf ein Symbol abgebildet und damit abstrahiert. Der Mensch benutzt das Symbol stellvertretend für ein Ding der realen Welt und aktiviert damit seinen Begriff dieses Dinges. Der Begriff, die Semantik des Symbols, ist von Mensch zu Mensch unterschiedlich und basiert auf den Erfahrungen des Menschen.

Im Originalmodell des Semiotischen Dreiecks besteht eine 1:1-Beziehung zwischen Ding, Symbol und Begriff. Praktisch kann jedoch eine m:n:o-Beziehung angenommen werden (vgl. Dengel, 2012). Ein Symbol kann für mehrere Dinge stehen und daher unterschiedliche Begriffe bei seinem Betrachter beziehungsweise Zuhörer auslösen. Auch kann ein Begriff mit unterschiedlichen Symbolen verknüpft sein. Dies kann bei der Kommunikation zu Problemen, wie Missverständnissen oder mangelnder Präzision, führen.

Diese Probleme verstärken sich noch, wenn die Informationen nicht von einem anderen Menschen, sondern von einem Computer interpretiert werden sollen. Jedes verwendete Symbol ist mit umfangreichem Wissen über die Realität verknüpft, welches zum korrekten Verständnis des Symbols notwendig ist. Aus diesem Grund muss die Semantik jedes Symbols eindeutig beschrieben werden. Zu diesen Zweck wurden Ontologien entwickelt.

Ontologien und ihre Bestandteile

Ontologien in der Informatik wurden durch eine Veröffentlichung von Robert Neches (siehe [Neches u. a., 1991](#)) bekannt und erhielten im Zusammenhang mit dem *Semantic Web* durch Tim Berners-Lee (siehe [Berners-Lee u. a., 2001](#)) erneut Popularität. Über Ontologien werden das zur gemeinsamen Kommunikation notwendige Wissen über Symbole und die Zusammenhänge von Symbolen in einer formalen Weise beschrieben.

„Eine Ontologie ist eine formale, explizite Spezifikation einer gemeinsamen Konzeptualisierung“ ([Dengel, 2012, S.65](#)).

Neben der Definition eines gemeinsamen Vokabulars und dessen Semantik, dienen Ontologien der Klassifikation der Begriffe in Form einer Taxonomie. Des Weiteren können Relationen zwischen den Begriffen und Regeln für diese Relationen formuliert werden. Eine Ontologie besteht aus den Komponenten Klasse, Relation, Regel und Instanz, auf welche im Folgenden näher eingegangen werden soll.

Klassen beschreiben die verschiedenen Begriffskategorien und sind in Ontologien durch die Verwendung von Vererbungsmechanismen meist als Taxonomien organisiert. *Fakten* werden in Ontologien als ein Tripel aus Subjekt, Prädikat und Objekt aufgeschrieben. Die *Relation* besitzt hierbei die Funktion des Prädikates und beschreibt eine wahre Beziehung zwischen Subjekt und Objekt. Ein Beispiel ist die Aussage „Max mag Marry“. Relationen können durch die Eigenschaften Symmetrie, Reflexivität und Transitivität charakterisiert werden. Die *Regeln* einer Ontologie, auch Axiome genannt, werden benutzt um Aussagen zu formulieren, die für alle Fakten der Wissensbasis wahr sein müssen. *Instanzen* repräsentieren konkrete Objekte einer oder mehrerer Klassen. Ihre Eigenschaften und Beziehungen zu anderen Instanzen, werden durch Fakten beschrieben.

Logische Inferenz auf Ontologien

Die Anwendung von Inferenzmechanismen erlaubt es Reasonern, auf Basis bereits bekannter wahrer Aussagen und Regeln neue wahre Aussagen abzuleiten. Auf diese Weise ist es möglich, die Wissensbasis automatisch um Fakten zu erweitern (vgl. [Dengel, 2012](#)). Dies ermöglicht es, Wissen, welches implizit in der Wissensbasis vorhanden ist, in explizite Fakten umzuwandeln. Auf diese Weise müssen nicht alle Fakten bei einem aussagenlogischen System in der Wissensbasis gespeichert werden, sondern können auf Basis einer Beschreibung allgemeingültiger Zusammenhänge vom System eigenständig abgeleitet werden. Ein bekanntes Inferenzverfahren ist das deduktive Schließen mit Hilfe des Modus Ponens.

3. Einführung in das Beispielszenario

In diesem Kapitel wird ein Großschadensereignis beschrieben, das im weiteren Verlauf der Arbeit als exemplarisches Beispielszenario verwendet wird. Nach den Anschlägen des 11. September 2001 investiert die USA viel Arbeit in den Schutz des Landes vor Anschlägen und Naturkatastrophen. Hurrikan Katrina, der Ende August 2005 große Schäden im Süden der USA verursacht ist das erste größere Schadensereignis seit den Reformen im US-amerikanischen Katastrophenschutz und deshalb besonders gut dokumentiert. Aus diesem Grund wurden die Auswirkungen von Hurrikan Katrina auf die Stadt New Orleans als Beispielszenario ausgewählt.

Im ersten Abschnitt dieses Kapitels werden einige Fakten zu New Orleans beschrieben. Im zweiten Abschnitt wird dann näher auf den Katastrophenschutz in New Orleans eingegangen. Der dritte Abschnitt beschreibt anschließend kurz die Lageentwicklung von Katrina, den Ablauf der Überflutung der Stadt sowie die Auswirkungen des Hurrikans auf New Orleans kritische Infrastruktur.

3.1. New Orleans

New Orleans ist heute mit knapp 350 tausend Einwohnern auf einer Fläche von 4.190 Quadratmeilen (10.852 Quadratkilometer) die größte Stadt des Bundesstaates Louisiana in den USA. Die Stadt liegt 90 Meilen (145 Kilometer) nördlich der Mündung des Mississippi und ist von Wasser umgeben. Ein Großteil von New Orleans liegt unterhalb des Meeresspiegels. Die Differenz zum Meeresspiegel ist im Zentrum der Stadt mit etwa 3 Metern am größten und nimmt zu den umgebenden Flüssen hin ab (vgl. [NewOrleans1, 2013](#)). Auf Grund dieser Topografie ist es notwendig, Regenwasser über Kanalsysteme mit der Hilfe von 22 Hauptpumpstationen und kleineren Hilfspumpstationen aus der Stadt zu pumpen. Das Wasser wird zum Großteil in den See Pontchartrain im Norden der Stadt geleitet (vgl. [NewOrleansDrainage, 2013](#)).

New Orleans ist eine der ältesten Städte der USA. 1803 kaufen die USA die Stadt von Frankreich und verdoppeln damals auf diese Weise ihre Größe. Im Laufe der Zeit entwickelt sich New Orleans zu einem wichtigen Lieferant von Konsumgütern für die USA (vgl. [NewOrleans2, 2013](#)).

Louisianas natürliche Ressourcen sind für die USA existenziell. Louisiana liefert 11 Prozent des US-amerikanischen Rohbenzins und besitzt 19 Prozent der Vorkommen an Erdgas. Der Bundesstaat ist der primäre nationale Lieferant an Erdöl, der zweitgrößte Lieferant an Erdgas und der zweit größte Energieproduzent in den USA. Außerdem besitzt Louisiana die zweit größte Raffinerie für Benzin und Plastik in den USA.

Des Weiteren beherbergt Louisiana die zweit größte Fischereiindustrie in den USA und liefert 40 Prozent der in den USA konsumierten Meeresfrüchte. Mehr als 6.000 Schiffe fahren jährlich über den Hafen von New Orleans durch den Mississippi und machen diesen zur befahrensten Wasserstraße der Welt und somit zu einem integralen Bestandteil der wirtschaftlichen Stabilität der USA.

3.2. New Orleans Hurrikan Vorbereitung

Auf Grund seiner geografischen Lage am Golf von Mexiko besteht für New Orleans eine erhöhte Gefahr von den Auswirkungen von Hurrikans getroffen zu werden. Die tiefe Lage der Stadt macht diese zudem besonders anfällig gegenüber starken Regenfällen und Sturmfluten, zwei Hauptgefahren von Hurrikans.

New Orleans ist zum Schutz vor Überflutung in eine Reihe von Polderbereiche unterteilt, die durch Deiche, Flutmauern und Fluttore geschützt und über Kanäle mit der Hilfe von Pumpstationen entwässert werden (vgl. [Seed u. a., 2005](#), S.103f).

Das föderale Regierungssystem der USA sieht vor, dass so viele Aufgaben wie möglich auf kommunaler oder bundesstaatlicher Ebene erledigt werden. Nur in Notsituationen wird die Zuständigkeit an den Bund delegiert. Die Zusammenarbeit zwischen Kommune, Bundesstaat und Bund wurde zwischen 2004 und 2008 durch den National Response Plan geregelt. Inzwischen wurde er vom National Response Framework abgelöst. Der National Response Plan wird nach den Anschlägen vom 11. September ausgearbeitet, um die Zusammenarbeit zwischen Kommune, Bundesstaat und Bund in Krisensituationen besser zu koordinieren (vgl. [Senate, 2006](#), S.551f).

Die Strategien für Notfallvorsorge und Krisenmanagement werden auf der Ebene der Bundesstaaten durch die Comprehensive Emergency Management Pläne der jeweiligen Staaten geregelt. Diese delegieren unter Umständen spezifische Aufgaben und Zuständigkeiten an die einzelnen Kommunen. Der Comprehensive Emergency Management Plan von Mississippi sieht beispielsweise vor, dass Hilfe vor Landfall eines Hurrikans angefordert werden sollte, da nach Landfall auf Grund von bundesstaatenübergreifenden Infrastrukturschäden für mindestens 72 Stunden keine Unterstützung vom Bund oder anderen Bundesstaaten zur

Verfügung gestellt werden kann (vgl. [Senate, 2006](#), S.99f). 2002 wird von Louisiana ein eigener Hurrikan Notfallplan eingesetzt, in dem unter anderem die Massenevakuierung der Bevölkerung in Abstimmung mit Mississippi geregelt wird (vgl. [Senate, 2006](#), S.81f).

Trotz der erhöhten Gefährdung von New Orleans wird erst im Jahr 2004 das Budget für die Erstellung eines kommunalen Hurrikan Notfallplans für New Orleans bewilligt (vgl. [Senate, 2006](#), S.109f). Der „Southeast Louisiana Catastrophic Hurricane Plan“ legt einen Fokus auf die Planung der Aufgaben nach dem Landfall eines Hurrikans und wird auf Basis der Übung „Hurricane Pam“ erstellt.

3.3. Hurrikan Katrina

Hurrikan Katrina formiert sich am 23. August 2005 etwa 320 km südöstlich von Nassau und gewinnt auf seinem Weg durch den Golf von Mexiko zunehmend an Stärke. Am 26. August ergeben Vorhersagen über den weiteren Verlauf des Hurrikans, dass New Orleans direkt getroffen werden könnte. Am frühen Morgen des 29. Augusts erreicht Katrina die Küste von Louisiana als ein Hurrikan der Stufe drei und schiebt eine etwa 5 Meter hohe Flutwelle in Richtung New Orleans (vgl. [Senate, 2006](#), S.53f).

3.3.1. Überflutung von New Orleans

Der genaue Ablauf der Überflutung von New Orleans wird im Folgenden auf Basis von [Swenson \(2006\)](#) beschrieben:

- Durch beschädigte Fluttore dringt gegen 4:30 Uhr steigendes Wasser durch den Industrial Canal in die Polderbereiche ein und führt zu ersten Überflutungen.
- Eine Flutwelle überspült gegen 5 Uhr die Deiche des Mississippi River Golf Outlets und überschwemmt Feuchtgebiete vor der Gemeinde St. Bernard.
- Um 6:30 Uhr kommt es zum Landfall von Katrina und eine Flutwelle überschwemmt gegen 6:30 Uhr den kompletten Osten von New Orleans.
- Um 7:30 Uhr bricht die Westmauer des Industrial Canals und überschwemmt die Stadtteile Bywater und Treme.
- Um 7:45 Uhr bricht die Ostmauer des Industrial Canals und gegen 8:30 Uhr werden die Flutmauern des Arpent Canals überspült, was zu einer vollständigen Überflutung der St. Bernard Gemeinde führt.

- Um 9 Uhr wird die östliche Flutmauer des Orleans Avenue Canals überspült. Das Wasser überflutet darauf hin den Stadtpark von New Orleans.
- Um 9:30 bricht die östliche Flutmauer des London Avenue Canals und führt zur Überflutung des östlichen Gebiets des Stadtteils Gentilly.
- Um 9:45 brechen mehrere Flutmauern des 17th Street Canals und überfluten den Stadtteil Lakeview.
- Um 10:30 Uhr wird auch die westliche Flutmauer des London Avenue Canals überspült und überflutet auch den westlichen Teil von Gentilly. Außerdem werden Teile der Gemeinde Jefferson überflutet, da Regen- und Flutwasser durch eine unbemannte Drainagepumpstation in die Stadt eindringen.
- Das Auge von Hurrikan Katrina bewegt sich Richtung Norden, was das Wasser des Sees Pontchartrain anhaltend in die Stadt drückt und bis zum Mittag des 1. September zu einer 80 prozentigen Überflutung der Stadt führt.

3.3.2. Auswirkungen auf die kritische Infrastruktur

In diesem Abschnitt werden die Auswirkungen von Katrina auf die kritische Infrastruktur von New Orleans beschrieben.

Stromversorgung

In ganz Louisiana müssen auf Grund der Auswirkungen von Katrina 17 Kraftwerke mit einem Output von zusammen 5.000 Megawatt geschlossen werden. Gut ein Fünftel dieser Kapazität wird durch Kraftwerke in New Orleans produziert. Bereits vor dem Landfall von Katrina fährt der Betreiber Entergy das etwa 15 km außerhalb von New Orleans liegende Atomkraftwerk Waterford aus Sicherheitsgründen herunter. Die in New Orleans liegenden Kraftwerke Michoud und Patterson werden auf Grund der Überflutung komplett funktionsunfähig (vgl. [Dismukes, 2011](#), S.328).

Katrina hat aber auch auf das Stromnetz erhebliche Auswirkungen. Entergy New Orleans verliert 152 km von 202 km Stromleitungen und 50 Umspannwerke werden überflutet (vgl. [Dismukes, 2011](#), S.329)

Drainagepumpen

Die Drainagepumpen werden vom Sewerage & Water Board New Orleans (S&WB) betrieben. Das S&WB besitzt für die Stromversorgung der Pumpen ein eigenes 25 Hz Kraftwerk. Die Überflutung von New Orleans führt auch zum Ausfall der Drainagepumpen (vgl. [Senate, 2006](#), S.55), was die Überflutung der Stadt beschleunigt. Die Drainagepumpen versagen auf Grund von Stromausfällen und überfluteten Pumpeinrichtungen (vgl. [Townsend u. a., 2006](#), S.34).

Treibstoffversorgung

Direkt nach Landfall von Katrina bricht der Treibstofftransport auf zwei Hauptleitungen der Colonial Pipeline und der Plantation Pipeline zusammen, die einen Großteil des Bedarfs an Benzin, Diesel und Kerosin der USA transportieren (vgl. [Senate, 2006](#), S.321). Des Weiteren bricht der Transport von Rohöl auf der Capline und der Transport von Propangas auf der Dixi Pipeline zusammen. Grund hierfür sind Stromausfälle und Überflutungen wichtiger Pump- und Verdichtungsstationen. Die Pipelines selber überstehen Katrina mit minimalen Schäden (vgl. [Dismukes, 2011](#), S.177).

Die an New Orleans angrenzenden Motiva Enterprises LLC und Valero Saint Charles Raffinerie in Norco müssen wegen des Stromausfalls geschlossen werden (vgl. [USDOE11, 2005](#), S.3). Aus diesem Grund muss auf Benzinvorräte zurückgegriffen werden. Von den Treibstofflieferanten wird jedoch infolge der starken Fluktuationen am Treibstoffmarkt keine große Menge an Benzin vorrätig gehalten, was zu einem Mangel an Treibstoff führt. Zudem erschwert der Stromausfall den Transport von Benzin, da Treibstoffpumpen nicht funktionieren (vgl. [Senate, 2006](#), S.386).

Kommunikation

New Orleans Kommunikationsinfrastruktur wird durch Katrina stark beeinträchtigt. Vermittlungsstellen für Festnetzleitungen und auch viele Landleitungen sind überflutet und lassen das Festnetz zusammenbrechen. Auch der Mobilfunk wird von Katrina funktionsunfähig gemacht, weil auch hier Vermittlungsstellen überflutet und Mobilfunkmasten durch den Sturm zerstört werden (vgl. [Senate, 2006](#), S.289).

Zudem wird der Radiofunk der Hilfskräfte durch Katrina beeinträchtigt und erschwert den Hilfskräften eine Koordination (vgl. [Senate, 2006](#), S.289). Die Satellitenkommunikation ist als einziges nicht vom Hurrikan betroffen, da diese keine bodengestützte Infrastruktur benötigt. An vielen Stellen fehlen jedoch Satellitentelefone oder vorhandene Geräte funktionieren nicht (vgl. [Senate, 2006](#), S.294f).

Wasserversorgung

Das Trinkwasser für New Orleans wird zum größten Teil von der Trinkwasseraufbereitungsanlage in Carrollton zur Verfügung gestellt, welche Wasser aus dem Mississippi über einen mehrstufigen Prozess reinigt. Der Ausfall der Stromversorgung in der Stadt führt dazu, dass die Trinkwasseraufbereitungsanlage mit Hilfe seines Notstromgenerators betrieben werden muss. Die Überflutung der Stadt führt außerdem zum Bruch einer der sechs Hauptwasserleitungen, die daraufhin von Mitarbeitern der Anlage vom Wassernetz getrennt werden muss, um das Austreten von Trinkwasser zu verhindern. Durch die Überschwemmung der Wasseraufbereitungsanlage kommt es zusätzlich zum Ausfall des Notstromgenerators, was die Anlage bis zur Wiederherstellung der öffentlichen Stromversorgung unbenutzbar macht (vgl. [Patterson u. a., 2007](#)). Obwohl die Trinkwasseraufbereitung schnell wieder anläuft dauert es bis Ende 2006 bis in New Orleans wieder in allen Stadtteilen sicheres Trinkwasser zur Verfügung steht. Der Druckverlust auf den Wasserleitungen und die Überflutung von Wasseraufbereitungsanlagen macht das Abkochen von Trinkwasser noch viele Monate nach Katrina erforderlich (vgl. [Patterson u. a., 2007](#)).

Der Ausfall der Strom- und Wasserversorgung und ein gleichzeitiger Ausfall der Kommunikation können zu einem Anstieg an Trinkwasser bedingten Krankheiten führen, da die Hinweise zum Abkochen des Trinkwassers nicht an die Bevölkerung kommuniziert werden können (vgl. [Simpson u. a., 2010](#), S.248).

Krankenhäuser und Pflegeheime

New Orleans Krankenhäuser werden vor Landfall von Katrina zum größten Teil nicht evakuiert (vgl. [Senate, 2006](#), S.248), weil nicht genug Transportkapazitäten für den Krankentransport zur Verfügung stehen, Transportrisiken für die Patienten zu groß seien und außerdem auf diese Weise die Krankenhäuser für die Versorgung von Hurrikanopfern geöffnet bleiben würden (vgl. [Senate, 2006](#), S.12, S.399f).

Die meisten Krankenhäuser sind jedoch nicht ausgestattet, um die Aufrechterhaltung des Betriebes unter den Bedingungen eines schweren Hurrikans zu gewährleisten. Nach wenigen Tagen bricht die Notstromversorgung der Krankenhäuser auf Grund von Treibstoffknappheit oder Überflutung zusammen. Deswegen müssen viele der Krankenhäuser nach Landfall von Katrina evakuiert werden (vgl. [Senate, 2006](#), S.402).

In New Orleans gibt es eine Vielzahl an Pflegebedürftigen, die zu Hause versorgt werden. Für diese Personengruppe wird im New Orleans Superdome eine Notunterkunft eingerichtet.

Auch die Pflegeheime sind wie die Krankenhäuser von der Evakuierung der Stadt ausgeschlossen und bleiben geöffnet. Einige Pflegeheime evakuieren ihre Patienten in den Superdom, doch besitzen sie keine eigenen Transportkapazitäten und sind auf die Unterstützung von Krankenhäusern angewiesen (vgl. [Senate, 2006](#), S.12, S.404).

Auch der Superdom ist nach Landfall von Katrina vom Stromausfall betroffen und seine Sanitäranlagen werden unbenutzbar (vgl. [Senate, 2006](#), S.346). Zudem fehlt es an Versorgungsgütern und das Gebäude erleidet physikalischen Schaden durch die Überflutung. Dies macht es notwendig den Superdom zu evakuieren und für 20 tausend Menschen eine alternative Unterbringung zu finden (vgl. [Senate, 2006](#), S.12).

Tabelle 3.1 zeigt einen Überblick über die Auswirkungen von Katrina auf New Orleans im Überblick.

Überflutung von New Orleans	80 Prozent
Höchster Wasserstand	ca. 3 Meter
Höhe der Flutwelle	ca. 5 Meter über Meeresniveau
Anzahl Todesopfer	986 (40% Ertrinken, 25% Verletzungen und Traumata, 11% Herzleiden)
Anzahl Flüchtlinge	über eine Million im Großraum New Orleans
Menschen in Notunterkünften	273.000
Bevölkerungsrückgang New Orleans (4/2000 zu 7/2006)	53%
Bevölkerungsrückgang New Orleans (4/2000 zu 7/2012)	24%
Anzahl beschädigter Häuser	134.000 (70% aller bewohnter Häuser)
Anzahl funktionsunfähiger Kraftwerke	2
Kilometer beschädigter Stromleitungen	153 von 203 Kilometer
Anzahl beschädigter Transformatoren	500
Anzahl beschädigter Umspannwerke	50
Anzahl Entergy New Orleans Kunden ohne Strom	94 Prozent (201.369 von 215.163)
Anzahl ausgefallener Drainagepumpen	34
Anzahl ausgefallener Mobilfunkmasten	1.000 von 7.000 an der gesamten Golfküste
Anzahl ausgefallener Wasseraufbereitungsanlagen	1
Anzahl funktionsunfähiger Krankenhäuser	6 von 9
Schaden in USD	135 Milliarden USD

Tabelle 3.1.: Fakten der Auswirkungen von Katrina auf New Orleans

Quellen: [Senate \(2006\)](#); [Dismukes \(2011\)](#); [USDOE11 \(2005\)](#); Greater New Orleans Community Data Center

4. Analyse

Die Verwundbarkeits- und Abhängigkeitsanalyse der Komponenten kritischer Infrastrukturen im Katastrophenschutz, die in Abschnitt 2.2.3 beschrieben wurde, dient in erster Linie der langfristigen Entwicklung der kritischen Infrastrukturen hin zu mehr Ausfallsicherheit sowie der Erstellung und Anpassung von kommunalen Notfallplänen. Die Analysen erfolgen auf kommunaler Ebene, wodurch die Aufdeckung kommunenübergreifender Abhängigkeiten erschwert wird. Im Katastrophenfall sind in der Regel mehrere Kommunen, wenn nicht sogar Bundesländer betroffen. Dies hat zur Folge, dass die Analyseergebnisse zumeist nicht flächendeckend zur Verfügung stehen und somit nur eingeschränkt nutzbar sind.

Im Rahmen dieses Kapitels werden Anforderungen von Krisenstäben an ein Informationssystem zur Abhängigkeitsanalyse kritischer Infrastrukturen zur Nutzung während der Bewältigungsphase erläutert. Im ersten Abschnitt sollen zunächst die Herausforderungen eines Krisenstabes bei der Katastrophenbewältigung erläutert werden. Hieraus lassen sich Anforderungen an ein Informationssystem zur Abhängigkeitsanalyse kritischer Infrastrukturen für den Einsatz in Krisenstäben ableiten. Im dritten Abschnitt soll ein Modellierungsansatz für die Abhängigkeitsanalyse kritischer Infrastrukturen ausgewählt werden. Hierfür werden die existierenden Modellierungsansätze aus 2.1.2 auf ihre Eignung für den Einsatz im Krisenstab bewertet.

4.1. Herausforderungen für einen Krisenstab

In Vorbereitung auf diese Arbeit wurde die Krisenbewältigung in Krisenstäben durch die Begleitung von Krisenstabsübungen an der Akademie für Krisenmanagement, Notfallplanung und Zivilschutz (AKNZ) untersucht. Die im Rahmen dieser Untersuchung identifizierten Herausforderungen sollen im Folgenden erläutert werden.

Umgang mit Wissensmangel: Die Arbeit eines Krisenstabes beginnt in einer Chaos-Phase, welche durch einen Mangel an Wissen über die aktuelle Situation charakterisiert ist. In der initialen Phase befinden sich die Strukturen des Krisenstabes im Aufbau und die Kommunikation mit den über- und untergeordneten Stellen muss etabliert werden. Trotz dieses

Mangels an Wissen ist es notwendig, bereits in dieser Phase die Deeskalation der Situation durch zielgerichtete Entscheidungen voranzutreiben. Hierfür ist es erforderlich, zeitnah Zugriff auf bereits unternommene Maßnahmen, wie beispielsweise die Evakuierungsplanung zu erhalten. Auch die Vorbereitung von wichtigen Informationen über das Einsatzgebiet, wie beispielsweise die Position kritischer Infrastrukturen, trägt zu einer Verkürzung der Chaos-Phase bei. Für die zielgerichtete Deeskalation einer Krise ist zudem die Nutzung der Erfahrung des Krisenstabes aus vergleichbaren Situationen der Vergangenheit ein entscheidender Erfolgsfaktor.

Wissen aus früheren Katastrophen nutzen: Besonders in der initialen Phase einer Krisensituation, in welcher wenig Informationen über die Schadenslage vorliegen, müssen Entscheidungen auf Basis von Erfahrungen in ähnlichen Situationen aus der Vergangenheit getroffen werden. Da großflächige Schadensereignisse nicht alltäglich sind und die Anzahl an Mitgliedern in einem Krisenstab nicht sehr groß ist, ist die Anzahl an Erfahrungsträgern begrenzt. Für den Fall, dass diese nicht zur Verfügung stehen, muss ihre Erfahrung aufbereitet und weitergegeben werden. Hierfür bieten sich Techniken des Wissensmanagements an (siehe [Wissensmanagement](#)). Ein bewährtes Vorgehen im Bevölkerungsschutz, für den Aufbau und die Weitergabe von Erfahrungen, besteht in der Durchführung von Übungen. Es bietet sich jedoch zusätzlich an, das Wissen strukturiert abzuspeichern, damit es bei Bedarf schnell gefunden werden kann.

Bewältigung des Informationsüberflusses: Nach dem Aufbau der Kommunikation ist der Krisenstab sehr bald mit einer Flut an Informationen über die Lage und das Einsatzgeschehen konfrontiert. Diese Informationsflut muss priorisiert, aufbereitet und an die zuständigen Stellen weitergeleitet werden, um ein Situationsbewusstsein zu schaffen und damit den Wissensmangel zu kompensieren. Die Aufbereitung der Informationen erfolgt visuell durch die Erstellung einer Lagekarte (siehe [Lagedarstellung in Krisenstäben](#)). Die Einsatz- und Lageinformationen können zudem genutzt werden, um die Lagebeurteilung zu verifizieren und die Wirksamkeit der Entscheidungen zu überprüfen.

Umgang mit uneinheitlichen Begrifflichkeiten und Schnittstellen: Im deutschen Katastrophenschutz existieren Begriffe, die zwischen den beteiligten Parteien, wie beispielsweise Polizei und Feuerwehr und zwischen einzelnen Bundesländern in ihrer Bedeutung variieren. Arbeiten diese Parteien beziehungsweise Bundesländer im Katastrophenfall zusammen, muss genau geregelt sein, welche Semantik für welchen Begriff, in welchem Kontext gilt. Dies ist für die Zusammenarbeit von Menschen in einem Krisenstab wichtig, spielt aber auch insbesondere beim Datenaustausch zwischen Kommunikations- und Informationssystemen eine entscheidende Rolle. Für die ebenenübergreifende Vernetzung von Kommunikations- und

Informationssystemen auf Bundes-, Landes-, und Landkreisebene wurde die XML-basierte Schnittstelle [XKatastrophenhilfe \(2013\)](#) entwickelt. Diese einheitliche Schnittstelle ermöglicht insbesondere den Austausch von Informationen über Hilfeleistungspotenziale zwischen den IT-Systemen der Gefahrenabwehr. Diese Informationen werden dabei nicht über die Bezeichnungen der verfügbaren Ressourcen, sondern über eine semantische Beschreibung ihrer Funktion ausgetauscht. Auf diese Weise werden Probleme mit unterschiedlichen Bezeichnungen zwischen den einzelnen Schichten und Ebenen vermieden.

Erkennen von Abhängigkeiten zwischen Komponenten kritischer Infrastrukturen:

Bei großflächigen Schadensereignissen ist meist die kritische Infrastruktur im Schadensgebiet und darüber hinaus betroffen. Besitzt der Krisenstab Informationen über das betroffene Gebiet, kann er ermitteln, welche Komponenten kritischer Infrastrukturen sich in diesem befinden. Liegen die Informationen über die Komponenten nur analog vor, ist die Identifizierung der direkt betroffenen Komponenten ein zeitintensiver Prozess. Hat der Krisenstab diese Zeit nicht, erfährt er über betroffene Komponenten der kritischen Infrastruktur nur über eingehende Lagemeldungen. In diesem Fall kann der Krisenstab nur noch reaktiv eingreifen und verliert die Möglichkeit frühzeitig Maßnahmen einzuleiten. Können die betroffenen Komponenten der kritischen Infrastrukturen identifiziert werden, sind die Wechselwirkungen zwischen diesen meist so komplex, dass es für einen Menschen schwer ist diese aufzudecken. Auch für diese Aufgabe sind Erfahrungen aus früheren Krisenstabseinsätzen essenziell. Existieren bereits kommunale Verwundbarkeitsassessments der kritischen Infrastruktur (vgl. [2.2.3](#)), muss dieses dem Krisenstab bekannt sein und er muss Zugriff auf sie haben. Auch die Integration der Daten der einzelnen Assessments ist ein zeitintensiver Prozess und daher in der Bewältigungsphase nur schwer zu praktizieren.

Umgang mit Zeitmangel: Für die Beurteilung einer Lage, auf Basis der Lagefeststellung, bleibt dem Krisenstab nicht viel Zeit, da Entscheidungen zeitnah getroffen werden müssen. Eine zeitaufwändige Modellierung von Simulationsmodellen ist daher für die Beurteilung einer Lage nicht praktikabel. Grundlage der Lagebeurteilung müssen daher schnell einholbare Informationen sowie die Erfahrungen des Krisenstabes sein.

4.2. Anforderungen an ein Analysewerkzeug für den Einsatz im Krisenstab

Auf Basis der im letzten Abschnitt identifizierten Herausforderungen für Krisenstäbe sowie der Grundlagen über die Abhängigkeitsanalyse kritischer Infrastrukturen (siehe [2.1](#)) und die Arbeit von Krisenstäben (siehe [2.2](#)), sollen in diesem Abschnitt die Anforderungen an ein

Informationssystem zur Abhängigkeitsanalyse kritischer Infrastrukturen für den Einsatz im Krisenstab aufgestellt werden. Zunächst wird der Systemkontext mit den identifizierten Anwendungsfällen definiert. Im Anschluss wird der Anwendungsfall *Lagedarstellung kritischer Infrastrukturen* an Hand eines Aktivitätsdiagramms näher beschrieben. Abschließend werden dann die fachlichen und technischen Anforderungen an das zu entwickelnde Informationssystem näher spezifiziert.

4.2.1. Systemkontext

Der Systemkontext (siehe Abbildung 4.1) zeigt das Krisenstabsinformationssystem mit den identifizierten Anwendungsfällen und beteiligten Akteuren in Form eines UML 2 Anwendungsfalldiagramms.

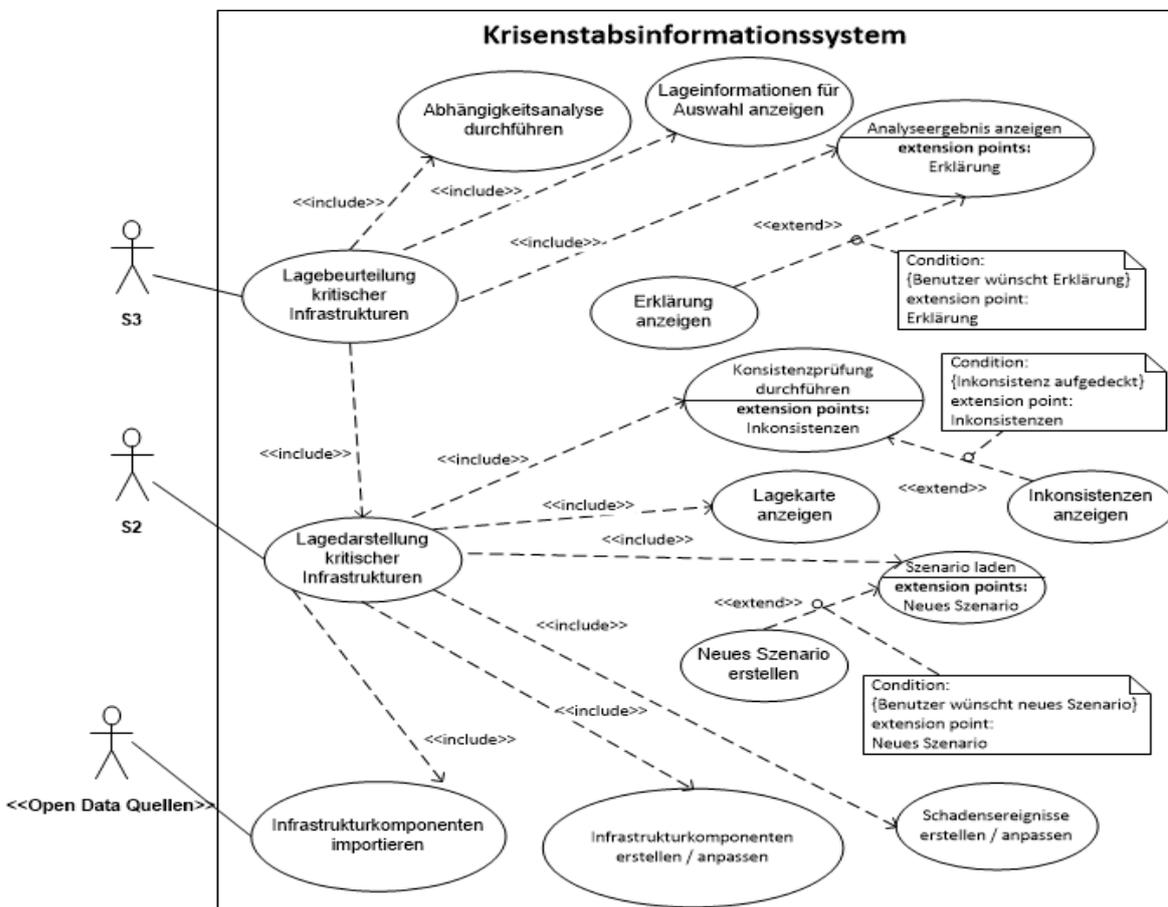


Abbildung 4.1.: Systemkontext des Informationssystems zur Abhängigkeitsanalyse kritischer Infrastrukturen

Die Darstellung eines Systemkontextes erleichtert die Identifizierung der zu spezifizierenden Anforderungen, da er die zu spezifizierenden Bereiche aufzeigt und die Grenzen des zu realisierenden Systems verdeutlicht (vgl. [Pohl und Rupp, 2009](#)). Die Anwendungsfälle wurden auf Basis der Arbeitsweise eines Krisenstabes (siehe [2.2.2](#)) und dem Leitfaden für die Erstellung von Verwundbarkeitsassessments kritischer Infrastrukturen (siehe [2.2.3](#)) identifiziert.

Die Sachgebiete 2 und 3 sind die Akteure und starten die Anwendungsfälle *Lagedarstellung kritischer Infrastrukturen* sowie *Lagebeurteilung kritischer Infrastrukturen*. Die Open Data Quellen, aus denen die Informationen über die Infrastrukturkomponenten importiert werden sollen, befinden sich außerhalb des Systemkontextes und werden daher ebenfalls als Akteur dargestellt. Die Lagebeurteilung setzt eine vorhergehende Lagedarstellung voraus. Aus diesem Grund besteht eine Abhängigkeit zwischen den Anwendungsfällen *Lagebeurteilung kritischer Infrastrukturen* und *Lagedarstellung kritischer Infrastrukturen*.

4.2.2. Lagebeurteilung kritischer Infrastrukturen

In diesem Abschnitt wird der zentrale Anwendungsfall *Lagebeurteilung kritischer Infrastrukturen* des Systemkontextes aus [Abbildung 4.1](#) für das zu entwickelnde Informationssystem durch ein UML 2 Aktivitätsdiagramm verfeinert (siehe [Abbildung 4.2](#)) und näher spezifiziert.

Bevor eine Analyse der Abhängigkeiten kritischer Infrastrukturen für eine Region durchgeführt werden kann, muss zunächst ein Szenario erstellt oder geladen werden. Ein neues Szenario kann entweder nach dem Eintritt eines Krisenereignisses im Krisenstab oder bereits vorher, für eine gefährdete Region, erstellt werden. Erfolgt die Erstellung eines Szenarios vor dem Eintritt eines konkreten Schadensereignisses, ist der Ablauf der Szenarioerstellung mit dem im Abschnitt [Verwundbarkeitsassessment kritischer Infrastrukturen](#) beschriebenen Prozess vergleichbar. Existiert im Krisenfall für die Region des Schadensereignisses ein Szenario, kann die kritische Infrastruktur aus diesem Szenario geladen werden.

Nach dem Laden eines Szenarios wird die Lagekarte angezeigt. Die Lagekarte ist die wichtigste Informationsquelle eines Krisenstabes und stellt alle relevanten Informationen über eine Region und die eingetretenen Ereignisse dar. Auf der Lagekarte werden die Positionen der Infrastrukturkomponenten und Schadensereignisse angezeigt. Wurde ein neues Szenario erstellt, ist die Lagekarte zunächst leer. In diesem Fall müssen die Infrastrukturkomponenten aus Open Data Quellen importiert werden. Das Sachgebiet 2 (S2) wählt die zu importierenden Infrastrukturklassen aus und hat die Möglichkeit pro Infrastrukturklasse Versorgungsradien anzugeben. Die Versorgungsradien sind die Gebiete, in denen die Infrastrukturkomponenten ihre erzeugten Outputs zur Verfügung stellen.

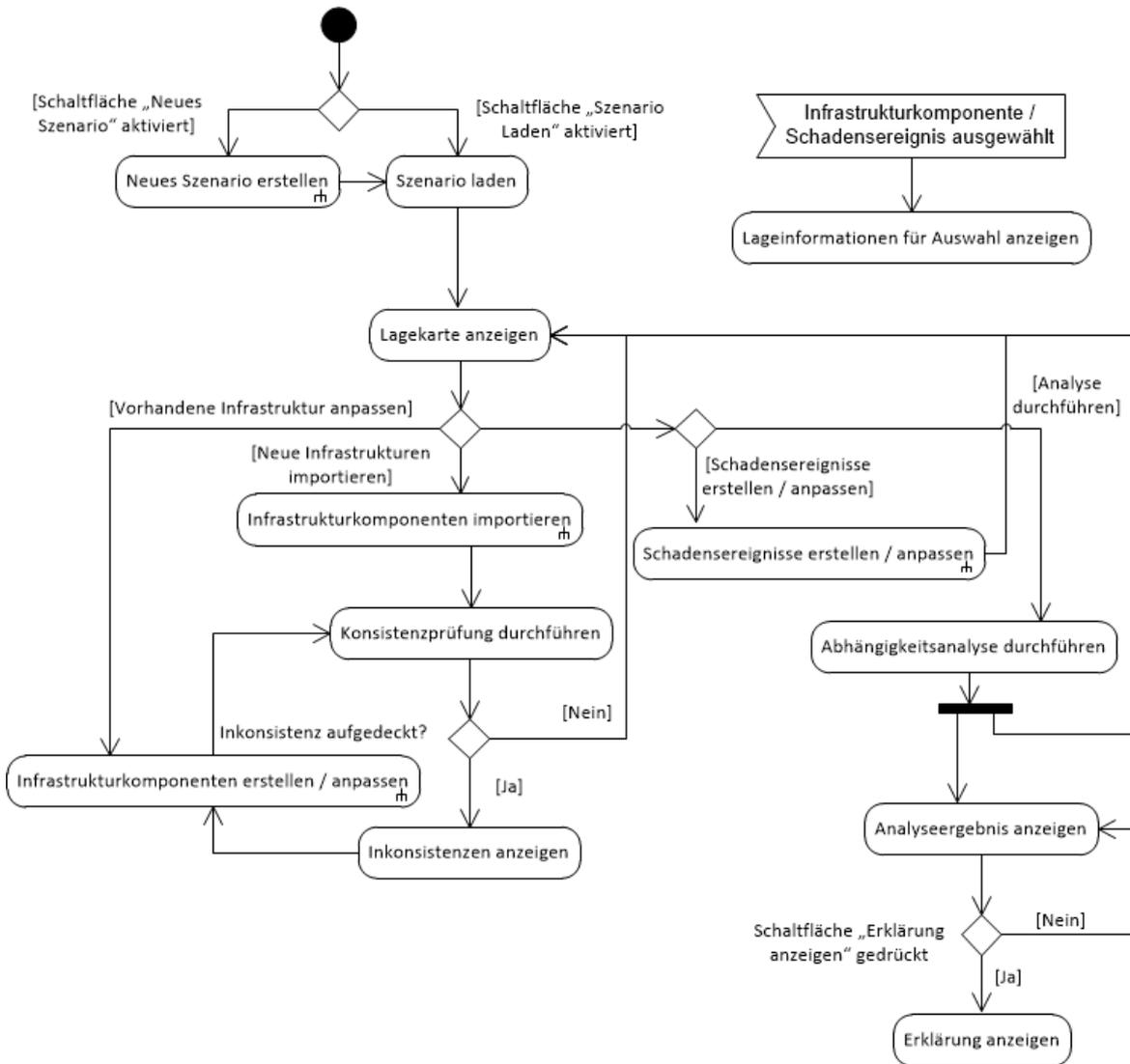


Abbildung 4.2.: Aktivitätsdiagramm für den Anwendungsfall Lagebeurteilung kritischer Infrastrukturen

Nach dem Import der Infrastrukturkomponenten muss eine Konsistenzprüfung durchgeführt werden. Diese zeigt, ob Informationen, die für eine Abhängigkeitsanalyse benötigt werden, fehlen oder andere Inkonsistenzen vorhanden sind. Sollten Inkonsistenzen aufgedeckt werden müssen diese durch Änderungen der Infrastrukturkomponenten behoben werden. Ist das Modell konsistent, kann mit der Beschreibung der Schadenslage fortgefahren werden. Hierzu definiert das S2 die Wirkungsbereiche von Schadensereignissen, die von ihnen verursachten Umweltzuständen (wie beispielsweise Sturm oder Flut) und ein Ereignisintervall.

Das Sachgebiet 3 (S3) führt auf Basis der Lagekarte eine Lagebeurteilung durch. Hierfür kann das S3 die Infrastrukturkomponenten oder Schadensereignisse auf der Lagekarte auswählen, um nähere Informationen zu erhalten oder eine Abhängigkeitsanalyse mit Hilfe des Informationssystems durchführen. Wird eine Infrastrukturkomponente oder ein Schadensereignis auf der Lagekarte ausgewählt, werden nähere Lageinformationen für diese Auswahl angezeigt. Tabelle 4.1 zeigt wichtige Fragen für eine Lagebeurteilung und die zur Beantwortung benötigten Informationen über Infrastrukturkomponenten.

Frage der Lagebeurteilung	Benötigte Information über Infrastrukturkomponente
Welche Bedeutung hat eine Infrastrukturkomponente für eine Region?	Welche Outputs stellt die ausgewählte Infrastrukturkomponente in welchem Gebiet zur Verfügung?
Wie anfällig ist die ausgewählte Infrastrukturkomponente gegenüber Störungen anderer Infrastrukturen?	Welche Inputs benötigt die ausgewählte Infrastrukturkomponente für ihre Arbeit?
Ist die Funktion einer Infrastrukturkomponente aktuell oder in Zukunft gefährdet?	Welche Outputs stellt die ausgewählte Infrastrukturkomponente zu welchem Zeitpunkt auf Basis der Abhängigkeitsanalyse tatsächlich zur Verfügung?
Von welchen anderen Infrastrukturkomponenten ist die Funktion der ausgewählten Komponente abhängig? Existieren Backupsysteme?	Welche Outputs anderer Infrastrukturkomponenten stehen der ausgewählten Komponente potenziell zur Verfügung?
Ist die Funktion der ausgewählten Infrastrukturkomponente unmittelbar durch die aktuelle Schadenslage gefährdet?	Welche Umweltzustände herrschen an der Position der Infrastrukturkomponente zu welchem Zeitpunkt?

Tabelle 4.1.: Beurteilung von Lageinformationen über Infrastrukturkomponenten

Tabelle 4.2 zeigt wichtige Fragen für eine Lagebeurteilung und die zur Beantwortung benötigten Informationen über Schadensereignisse.

Durch die Auswahl von Schadensereignissen und Infrastrukturkomponenten ist es möglich

Frage der Lagebeurteilung	Benötigte Information über Schadensereignis
Welche unmittelbaren Auswirkungen hat ein Schadensereignis auf eine Region?	Welche Umweltzustände besitzt das Schadensereignis und in welchem Zeitraum ereignet es sich?
Welche unmittelbaren Auswirkungen besitzt das Schadensereignis auf die kritische Infrastruktur	Welche Infrastrukturkomponenten liegen im Wirkungsbereich des Schadensereignisses und werden von diesem direkt beeinflusst?

Tabelle 4.2.: Beurteilung von Lageinformationen über Schadensereignisse

die unmittelbaren Auswirkungen eines Schadensereignisses auf die Komponenten der kritischen Infrastruktur abzuschätzen (siehe Hypothese 1). Es sollen jedoch auch die mittelbaren Auswirkungen ermittelt werden können (siehe Hypothese 2). Hierfür ist es erforderlich Kausalitätsketten für den kaskadierenden Ausfall von Infrastrukturkomponenten zu ermitteln. Für diesen Zweck kann das S3 eine Abhängigkeitsanalyse durchführen. Bei der Abhängigkeitsanalyse wird für jede Infrastrukturkomponente ermittelt durch welche Schadensereignisse ihre Funktionalität eingeschränkt wird. Die Einschränkung der Funktionalität hat Auswirkungen auf die von der Komponente erzeugten Outputs. Dies beeinträchtigt unter Umständen weitere Infrastrukturkomponenten. Der Ausfall einer Infrastrukturkomponente birgt immer eine Gefahr (siehe Hypothese 3). Fällt beispielsweise ein Kraftwerk aus, besteht die Gefahr eines Stromausfalls in der Region, die vom Kraftwerk mit Strom versorgt wurde. Die Abhängigkeitsanalyse zeigt die kausalen Abhängigkeiten mit dem Schadensereignis als Ausgangspunkt und den Gefahren der Infrastrukturbeeinträchtigungen als kausale Folgen. Für jede ermittelte kausale Abhängigkeit kann eine Erklärung angezeigt werden. Eine Erklärung zu einer kausalen Abhängigkeit zwischen zwei infrastrukturbedingten Gefahren gibt Auskunft darüber, welche Inputs einer Infrastrukturkomponente fehlen beziehungsweise welches Schadensereignis die Störung einer Infrastrukturkomponente bedingt.

Das Aktivitätsdiagramm sowie seine textuelle Beschreibung dienen in den folgenden Abschnitten als Grundlage für die Spezifikation der fachlichen und technischen Anforderungen an das zu entwickelnde Informationssystem.

4.2.3. Fachliche Anforderungen

Zunächst sollen die fachlichen Anforderungen (Präfix FA) spezifiziert werden. Des Weiteren werden einige fachliche Prämissen (Präfix FP) formuliert.

Kritischer Infrastrukturen

- FA-K1 Das Analysemodell des Informationssystems beschreibt Systeme und Subsysteme kritischer Infrastrukturen. Diese werden im Folgenden unter dem Begriff *Infrastrukturkomponenten* zusammengefasst.
- FA-K2 Eine Infrastrukturkomponente besitzt eine Bezeichnung und eine geografische Position.
- FP-K1 Die geografische Position einer Infrastrukturkomponente wird durch einen zweidimensionalen Punkt (Längengrad und Breitengrad) beschrieben.
- FA-K3 Eine Infrastrukturkomponente stellt Dienstleistungen zur Verfügung und / oder produziert Erzeugnisse. Diese werden im Folgenden unter dem Begriff *Outputs* zusammengefasst.
- FA-K4 Für die Erzeugung von Outputs benötigt eine Infrastrukturkomponente Dienstleistungen und / oder Erzeugnisse anderer Infrastrukturkomponenten. Diese werden im Folgenden unter dem Begriff *Inputs* zusammengefasst.
- FA-K5 Welche Inputs eine Infrastrukturkomponente benötigt und welche Outputs sie zur Verfügung stellt hängt von dem Zustand ab, in dem sie sich befindet. Dieser wird im Folgenden auch *Betriebszustand* genannt.
- FA-K6 Der Betriebszustand einer Infrastrukturkomponente innerhalb eines Zeitintervalls ist abhängig von den ihr zur Verfügung stehenden Inputs und den Umweltzuständen (siehe *FA-S2*) an ihrer Position innerhalb dieses Zeitintervalls.
- FP-K2 Die Änderung des Betriebszustandes einer Infrastrukturkomponente wirkt sich unmittelbar auf andere Infrastrukturkomponenten aus.
- FA-K7 Jede Infrastrukturkomponente stellt ein Erzeugnis oder eine Dienstleistung in einem Bereich zur Verfügung (*Versorgungsbereich*), die sie in einem bestimmten Betriebszustand erzeugt.
- FA-K8 Ein Versorgungsbereich kann auf zwei Arten beschrieben werden. Als Polygon, das ein zweidimensionales geografisches Gebiet beschreibt oder als Kreis mit einem Radius in Metern, mit der Komponente als Mittelpunkt.
- FA-K9 Ein Betriebszustand kann regulär, irregulär oder ein Ausfallzustand sein.
- FA-K10 Die Anfälligkeit einer Infrastrukturkomponente gegenüber Umweltzuständen soll auf eine Klasse von Infrastrukturkomponenten abstrahiert werden. Diese Klasse wird im Folgenden *Infrastruktur-Konzept* genannt. Diese Anforderung an das Analysemodell folgt aus Hypothese 1.

- FA-K11 Die benötigten Inputs und zur Verfügung gestellten Outputs einer Infrastrukturkomponente sollen durch Infrastruktur-Konzepte abstrahiert werden. Diese Anforderung an das Analysemodell folgt aus Hypothese 2.
- FA-K12 Jede kritische Infrastrukturkomponente in einem irregulären oder Ausfallzustand stellt eine potentielle Gefahr dar. Das Informationssystem kann für jede Infrastrukturkomponente in einem irregulären oder Ausfallzustand potentielle Gefahren ermitteln, die unmittelbar auf diesen Zustand zurückzuführen sind. Diese Anforderung an das Analysemodell folgt aus Hypothese 3.

Schadensereignisse

- FA-S1 Das Analysemodell des Informationssystems beschreibt Schadensereignisse.
- FA-S2 Ein Schadensereignis besitzt einen Wirkungsbereich, einen oder mehrere Umweltzustände (beispielsweise Flut oder Sturm) und findet innerhalb eines Zeitintervalls statt. Ist das Ende eines Schadensereignis unbekannt, muss nur der Startzeitpunkt angegeben werden. In diesem Fall wird davon ausgegangen, dass das Schadensereignis bis auf Weiteres andauert.
- FP-S1 Ein Schadensereignis ändert im Laufe der Zeit weder Umweltzustände noch seine Position. Die Änderung eines Wertes stellt ein neues Schadensereignis dar.

Lagedarstellung

- FA-Ld1 Ein Benutzer kann Infrastrukturkomponenten in das Informationssystem eingeben.
- FA-Ld2 Ein Benutzer kann Schadensereignisse in das Informationssystem eingeben.
- FA-Ld3 Das System stellt die Komponenten der kritischen Infrastruktur sowie ihre Versorgungsbereiche auf einer Lagekarte dar. Infrastrukturkomponenten werden durch ein taktisches Symbol visualisiert. Versorgungsgebiete werden, in Abhängigkeit ihres Typs, als Kreis oder Polygon dargestellt.
- FA-Ld4 Das System stellt Schadensereignisse auf einer Lagekarte dar. Schadensereignisse werden als Polygon visualisiert.
- FA-Ld5 Der Benutzer kann Infrastrukturkomponenten und Schadensereignisse auf der Karte ein- und ausblenden.
- FA-Ld6 Der Benutzer kann Szenarien im Informationssystem anlegen.

FA-Ld7 Ein Szenario hat einen Namen und bildet einen Gültigkeitsbereich für Eingaben zu Infrastrukturkomponenten und Schadensereignissen.

Lagebeurteilung

FA-Lb1 Das Informationssystem kann alle Infrastrukturkomponenten im Wirkungsbereich eines Schadensereignisses bestimmen und in einer Tabelle ausgeben.

FA-Lb2 Das Informationssystem stellt für jede Infrastrukturkomponente in einer Tabelle dar, welche Inputs die Komponente für den Betrieb benötigt und welche Outputs sie zur Verfügung stellt.

FA-Lb3 Das Informationssystem ermittelt den Betriebszustand aller Infrastrukturkomponenten in Abhängigkeit der Zeit und stellt diese in einer Tabelle dar.

FP-Lb1 Es werden nur geographische und materielle Abhängigkeiten zwischen Infrastrukturen vom Informationssystem ermittelt. Künstliche und logische Abhängigkeiten werden im Prototypen nicht berücksichtigt.

FA-Lb4 Der Benutzer stößt die Berechnung der Betriebszustände (die Abhängigkeitsanalyse) manuell an.

FA-Lb5 Das System stellt jede ermittelte Gefahr (siehe *FA-K12*) und die Schadensereignisse (siehe *FA-S1*) als Knoten in einem Graphen dar. Die Beeinträchtigung einer kritischen Infrastruktur kann Auswirkungen auf andere Infrastrukturen haben. Diese Abhängigkeiten werden als Kanten zwischen den Knoten dargestellt. Jede Gefahr ist kausal auf ein Schadensereignis oder mehrere Schadensereignisse zurückzuführen. Aus diesem Grund existiert für jede Gefahr mindestens ein Pfad zu einem Schadensereignis.

FA-Lb6 Das Informationssystem zeigt zu jedem Schadensereignis in einer Tabelle an, welche Umweltzustände vom Ereignis im Wirkungsbereich verursacht werden und innerhalb welches Zeitintervalls das Ereignis stattfindet.

FA-Lb7 Das Informationssystem zeigt für eine ausgewählte Infrastrukturkomponente in einer Tabelle an, welche Outputs welcher anderen Infrastrukturkomponenten an dieser Position potentiell zur Verfügung stehen.

FA-Lb8 Das Informationssystem zeigt für eine ausgewählte Infrastrukturkomponente in einer Tabelle an, welche Umweltzustände innerhalb welches Zeitintervalls an dieser Position herrschen.

FA-Lb9 Das Informationssystem stellt für eine kausale Beziehung zwischen zwei Gefahren (siehe *FA-Lb5*) einen Erklärungsgraphen dar. Der Erklärungsgraph zeigt an, welche Gefahr zu welcher anderen Gefahr führt. Hierzu visualisiert der Graph, der Wegfall welches Inputs oder welches Umweltzustandes der auslösenden Gefahr zur bedingten Gefahr führt. Der Graph stellt außerdem dar, in welchem geographischen Gebiet und in welchem Zeitintervall sich die Gefahren ereignen.

4.2.4. Technische Anforderungen

In diesem Abschnitt werden die technischen Anforderungen (Präfix TA) spezifiziert. Zudem werden technische Leistungsausgrenzungen (Präfix TL) angegeben.

Allgemein

- TA-A1 Als Programmiersprache soll Java in der Version 6 verwendet werden.
- TA-A2 Das Informationssystem soll als Client- / Server- Anwendung realisiert werden.
- TA-A3 Der Server soll unter OSX und 64-Bit Versionen von Windows 7 ausführbar sein.
- TA-A4 Der Client soll in einem Browser ausgeführt werden können. Getestet wird mit FireFox Version 24 und Google Chrome Version 31.
- TL-A1 Eine performante Berechnung der Betriebszustände ist nicht Bestandteil des Prototypen.

Semantische Datenspeicherung

- TA-S1 Das System arbeitet mit einer semantischen Beschreibung von kritischen Infrastrukturen und Schadensereignissen. Auf diese Weise kann mit unterschiedlichen Begrifflichkeiten umgegangen werden und ein Wissensaustausch wird ermöglicht.
- TA-S2 Szenarien sollen als Datei exportiert werden können. Als Export-Format soll die Turtle-Syntax für RDF verwendet werden.
- TA-S3 Exportierte Szenarien können vom Benutzer in das Informationssystem importiert werden.

Import von Komponenten kritischer Infrastrukturen

- TA-I1 Ein Benutzer kann Komponenten kritischer Infrastrukturen aus OpenData Quellen in das Informationssystem importieren.
- TA-I2 Ein Benutzer kann auswählen, welche Arten von Komponenten (beispielsweise Kraftwerke, Umspannwerke) er importieren möchte.
- TA-I3 Das System importiert die Komponenten für den aktuell angezeigten Kartenausschnitt der Lagekarte.
- TA-I4 Ein Benutzer kann vor dem Import von Komponenten kritischer Infrastrukturen einen Versorgungsradius angeben, in dem die Outputs der Komponente zur Verfügung gestellt werden (siehe *FA-K7*). Der Versorgungsradius ist pro Komponentenart einheitlich. Der Versorgungsradius wird in Metern angegeben und beschreibt ein kreisförmiges Gebiet mit der Infrastrukturkomponente als Mittelpunkt (siehe *FA-K8*). Stellt eine Infrastrukturkomponente mehrere Outputs zur Verfügung gilt der Versorgungsradius für alle zur Verfügung gestellten Outputs.
- TA-I5 Das System bietet eine Schnittstelle für den Import an, die es Entwicklern ermöglicht unterschiedliche webservice-basierte Datenquellen anzubinden.
- TL-I1 Die Identifikation und Kombination von äquivalenten Informationen aus unterschiedlichen Datenquellen ist nicht Bestandteil des Systems.
- TL-I2 Eine Unterstützung bei der Validierung der importierten Informationen ist nicht Bestandteil des Systems.

Datenkonsistenz

- TA-D1 Das Informationssystem bestimmt Inkonsistenzen, die beispielsweise durch unvollständige Dateneingaben entstehen und stellt diese in einer Tabelle dar.
- TA-D2 Die Überprüfung der Datenkonsistenz erfolgt nach der Eingabe einer kritischen Infrastruktur oder eines Schadensereignisses sowie nach der Bestimmung der Betriebszustände der Infrastrukturkomponenten.

4.3. Auswahl eines Modellierungsansatzes für die Abhängigkeitsanalyse kritischer Infrastrukturen im Krisenstab

4.3.1. Anforderungen an einen Modellierungsansatz

In diesem Abschnitt sollen die Anforderungen an einen Modellierungsansatz für die Abhängigkeitsanalyse kritischer Infrastrukturen während der Bewältigungsphase bestimmt werden. Im Folgenden werden die Anforderungen an die Modelleigenschaften Zeitverhalten, Detailgrad, Art der Modellierung der Abhängigkeiten und spatiale Modellierung erläutert.

Zeitverhalten

Für die Abhängigkeitsanalyse von kritischen Infrastrukturen existieren kontinuierliche, diskrete und zeitunabhängige Modelle (vgl. [Rinaldi, 2004](#)). Kontinuierliche Modelle beschreiben das zeitliche Verhalten mit Hilfe von Differentialgleichungen (vgl. [Cellier, 1991](#)). Für die Modellierung kontinuierlicher Simulationen wird sehr detailliertes Wissen über das zeitliche Verhalten des Systems benötigt.

Zeitunabhängige Modelle vernachlässigen die Veränderung eines Wertes über die Zeit. Es werden ausschließlich zeitkonstante Werte für die Berechnung verwendet. Zeitdiskrete Modelle berechnen nur für bestimmte Zeitpunkte Werte. Die Abstände zwischen den einzelnen Zeitpunkten können fest (feste zeitliche Auflösung) oder variabel (ereignisbasiert) sein (vgl. [Kelton und Law, 2000](#)). Da neue Daten in einem Krisenstab in unregelmäßigen Abständen eingegeben werden und die Berechnung der Betriebszustände durch einen Benutzer im Rahmen der Lagebeurteilung gestartet werden soll (siehe *FA-Lb4*), bietet sich ein zeitdiskretes Modell mit ereignisbasierter Zustandsberechnung an.

Detailgrad

Der Detailgrad von Modellierungsansätzen für die Abhängigkeitsanalyse kritischer Infrastrukturen reicht von sehr detaillierten, hochauflösenden Modellen hin zu sehr abstrakten Modellen (vgl. [Rinaldi, 2004](#)). Je hochauflösender ein Modellierungsansatz ist, desto mehr Informationen werden für die Modellierung benötigt.

Krisenstäbe besitzen in der Regel nur sehr allgemeine Informationen über die kritischen Infrastrukturen im Schadensgebiet. Die Qualität der Informationen hängt davon ab, ob und für welche betroffenen Gebiete bereits eine Verwundbarkeitsanalyse (siehe [2.2.3](#)) erstellt wurde,

wie aktuell diese sind und wie gut die Zusammenarbeit mit den Betreibern der kritischen Infrastrukturen, in den betroffenen Kommunen, funktioniert.

Damit das Informationssystem für möglichst viele Gebiete eingesetzt werden kann, sollte ein abstrakter Modellierungsansatz gewählt werden, welcher keine detaillierten Informationen über die Komponenten kritischer Infrastrukturen benötigt. Trotzdem sollte der Modellierungsansatz das Vorhandensein von Detailwissen zugunsten einer spezifischeren Analyse berücksichtigen.

Art der Modellierung der Abhängigkeiten

Die vorhandenen Modellierungsansätze unterscheiden sich in der Art, wie Abhängigkeiten zwischen kritischen Infrastrukturen modelliert werden. Die Abhängigkeiten können entweder explizit modelliert werden (vgl. [Dudenhoeffer u. a., 2006](#)) oder sich implizit aus den benötigten und angebotenen Dienstleistungen und Erzeugnissen ergeben (vgl. [Setola u. a., 2009](#)). Die explizite Modellierung von Abhängigkeiten ermöglicht eine detailliertere und spezifischere Analyse, setzt jedoch auch mehr Wissen über die kritischen Infrastrukturen voraus, da die Abhängigkeiten zwischen zwei Infrastrukturen konkret modelliert werden müssen. Die implizite Modellierung von Abhängigkeiten erfordert weniger Wissen über die kritischen Infrastrukturen, die Ergebnisse sind deshalb meist abstrakter oder auf Grund des größeren Freiheitsgrades schwerer zu validieren.

Für das Informationssystem kann nicht davon ausgegangen werden, dass für alle Infrastrukturkomponenten in einem Schadensgebiet die genauen Abhängigkeiten bekannt sind. Aus diesem Grund muss eine implizite Modellierung der Abhängigkeiten unterstützt werden. Das bedeutet, dass Abhängigkeiten zwischen Infrastrukturkomponenten nicht konkret modelliert werden müssen, sondern auf Basis der Modellierung abgeleitet werden können. Dies kann beispielsweise durch die Einführung von Versorgungsgebieten erreicht werden. Stellt eine Infrastrukturkomponente ihre Outputs in einem geographischen Bereich zur Verfügung ergibt sich die Abhängigkeit zwischen zwei Infrastrukturkomponenten implizit auf Basis ihrer Lage und ihrer zur Verfügung gestellten und benötigten Ressourcen beziehungsweise Dienstleistungen. Liegen spezifische Informationen zu den Abhängigkeiten zwischen Infrastrukturkomponenten vor, sollten diese jedoch auch detaillierter modelliert werden können. Auch dies ist durch Einführung von Versorgungsgebieten möglich. Umfasst ein Versorgungsgebiet einer Infrastrukturkomponente ausschließlich die Position einer anderen, so kann eine direkte Abhängigkeit zwischen diesen beiden Komponenten beschrieben werden.

Spatiale Modellierung

Die Modellierungsansätze unterscheiden sich darin, ob spatiale Abhängigkeiten zwischen den Komponenten kritischer Infrastrukturen modelliert werden können. Bei Modellierungsansätzen mit einem mittleren bis hohen Detailgrad werden einzelne Infrastrukturkomponenten modelliert und lassen so Rückschlüsse auf ihre räumlichen Abhängigkeiten zu (vgl. [Dudenhoeffer u. a., 2006](#)). Abstrakte Modellierungsansätze abstrahieren von einzelnen Infrastrukturkomponenten und erlauben nur generelle Aussagen über die Wechselwirkungen zwischen kritischen Infrastrukturen (vgl. [Setola u. a., 2009](#)).

Die Aufgabe von Krisenstäben besteht unter anderem darin, die Komponenten kritischer Infrastrukturen vor Schäden zu bewahren oder die Auswirkungen von Schäden abzuschwächen. Schadensereignisse werden räumlich über eine Lagekarte beschrieben und Komponenten kritischer Infrastrukturen innerhalb des betroffenen Gebietes müssen bestimmt werden. Aus diesem Grund muss eine spatiale Modellierung der Infrastrukturkomponenten möglich sein.

4.3.2. Vergleich der Modellierungsansätze

An dieser Stelle sollen die Ansätze für die Modellierung von Abhängigkeiten zwischen kritischen Infrastrukturen aus Abschnitt [Modellierungsansätze](#) auf die Erfüllung der im letzten Abschnitt ermittelten Anforderungen untersucht werden. Tabelle 4.3 zeigt die Eigenschaften der Modellierungsansätze im Vergleich.

Modellierungsansatz	Zeitverhalten	Detailgrad	Abhängigkeiten	Spatial	Agentenbasiert
AS-AD-Modelle	unabhängig	abstrakt	implizit	nein	nein
Dynamische Simulationen	kontinuierlich	variabel	explizit	(ja)	nein
Agentenbasierte Modelle	diskret	variabel	explizit / implizit	ja	ja
Physikalische Modelle	kontinuierlich	hoch	explizit	(ja)	nein
Populationsbewegungsmodelle	diskret	variabel	implizit	ja	ja
Leontief Input- Output Modelle	unabhängig	abstrakt	explizit	nein	nein
Interdependenz-Graph Modelle	kontinuierlich	variabel	explizit	ja	nein

Tabelle 4.3.: Eigenschaften der Modellierungsansätze im Vergleich

AS-AD-Modelle

Aggregierende Angebots- und Nachfrage-Modelle (kurz: AS-AD-Modelle) sind abstrakte Modelle, welche den Bedarf und die Nachfrage von Dienstleistungen und Erzeugnissen kritischer Infrastrukturen in Verhältnis zu einander setzen. Diese Modelle sind zeitunabhängig

und abstrahieren von einzelnen Infrastrukturkomponenten (vgl. [Rinaldi, 2004](#)). Aus diesem Grund ist es mit dieser Kategorie von Modellen nicht möglich räumliche Abhängigkeiten zwischen Infrastrukturkomponenten zu modellieren. Die Abhängigkeiten zwischen kritischen Infrastrukturen ergeben sich implizit über die angebotenen und nachgefragten Dienstleistungen und Erzeugnisse.

Diese Kategorie von Modellen ist für den Einsatz in Krisenstäben zu abstrakt. Es lassen sich Rückschlüsse über eine Störung der Outputs einer Infrastruktur auf andere Infrastrukturen ziehen, es ist jedoch nicht möglich mit dieser Art von Modellen die Auswirkungen eines räumlichen Schadensereignisses auf die Infrastrukturkomponenten in diesem Schadensgebiet zu modellieren.

Dynamische Simulationen

Dynamische Simulationen verwenden kontinuierliche Modelle, um das zeitabhängige Verhalten von kritischen Infrastrukturen zu beschreiben. Dynamische Simulationen sind abstrakter als physikalische Modelle, da sie keine konkreten physikalischen Effekte beschreiben, sondern beispielsweise den Fluss von Erzeugnissen zwischen Infrastrukturkomponenten als Warenfluss abstrahieren (vgl. [Rinaldi, 2004](#)). Die Beschreibungsfähigkeit dieser Modellkategorie hängt vom Detailgrad der Modellierung ab. Es ist möglich einzelne Infrastrukturkomponenten mit Hilfe dynamischer Simulationen zu beschreiben. Die geografische Position einer Infrastrukturkomponente ist nicht explizit im Modell enthalten, es lassen sich aber aus den Ergebnissen der Simulationen Rückschlüsse über räumliche Effekte ziehen.

Ein dynamisches Modell ist für den Einsatz in Krisenstäben zu hochauflösend, da genaue Informationen über das zeitliche Verhalten der Infrastrukturkomponenten beschrieben werden müssen, welche im Krisenstab in der Regel nicht vorhanden sind.

Agentenbasierte Modelle

Agentenbasierte Modelle sind zeitdiskret und ihr Detailgrad ist variabel. Mit dieser Modellkategorie lassen sich Modelle mit mittlerem bis hohem Detailgrad modellieren. In der Regel werden die Komponenten kritischer Infrastrukturen als interagierende Agenten modelliert (vgl. [Dudenhoeffer u. a., 2006](#)). Jeder Agent hält seinen eigenen Zustand, zudem auch seine räumliche Position gehören kann und somit eine spatiale Modellierung ermöglicht. Die Abhängigkeiten zwischen Infrastrukturkomponenten in agentenbasierten Modellen können explizit oder implizit modelliert werden.

Da sich der Zustand eines agentenbasierten Modells aus den Zuständen seiner Agenten ermittelt und jeder Agent autonom handelt, ist es schwer zu bestimmen, welches initiale

Schadensereignis zu welcher Auswirkung führt. Agentenbasierte Modelle eignen sich gut, um die Auswirkungen komplexer Interaktionen zu untersuchen. Eine Begründung für einen beobachtbaren Effekt zu finden, ist in agentenbasierten Modellen eine Herausforderung und bedarf sehr viel Aufwand. Für Krisenstäbe ist es nicht nur wichtig zu ermitteln, welche Gefahren aus Schadensereignissen resultieren können, sondern auch die kausalen Effekte, die sie bedingen, zu verstehen. Aus diesem Grund eignen sich agentenbasierte Modelle nicht uneingeschränkt für den Einsatz in Krisenstäben.

Physikalische Modelle

Die Eigenschaften von physikalischen Modellen sind mit den Eigenschaften dynamischer Modelle vergleichbar. Der einzige Unterschied besteht darin, dass physikalische Modelle konkrete physikalische Vorgänge beschreiben (vgl. [Rinaldi, 2004](#)). Physikalische Modelle sind sehr hochauflösend und erfordern sehr detailliertes Wissen über die Komponenten kritischer Infrastrukturen. Aus diesem Grund wird diese Modellkategorie hauptsächlich von den Betreibern kritischer Infrastrukturen eingesetzt, um Betriebsabläufe zu optimieren und Wechselwirkungen mit angrenzenden Infrastrukturen zu analysieren.

Physikalische Modelle eignen sich, genau wie dynamische Modelle, nicht für den Einsatz in Krisenstäben, da sehr detaillierte Informationen benötigt werden, die von den Infrastrukturbetreibern in der Regel nicht weitergegeben werden.

Populationsbewegungsmodelle

Populationsbewegungsmodelle sind meist agentenbasierte Modelle, die einen Modellierungsfokus auf die Bewegung von Personen und Fahrzeugen legen. Die Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zwischen den Infrastrukturkomponenten ergeben sich implizit aus ihrer Interaktion und ermöglichen so beispielsweise die Untersuchung von Krankheitsausbreitungen oder die Planung von Verkehrsinfrastruktur (vgl. [Rinaldi, 2004](#)).

Im Fokus des Informationssystems liegt die Modellierung unbeweglicher Infrastrukturkomponenten, weshalb sich eine Modellierung mit Populationsbewegungsmodellen nicht anbietet.

Leontief Input- Output Modelle

Die Basisversion der Leontief Input- Output Modelle ist zeitunabhängig. Es existieren jedoch Modellerweiterungen, welche beispielsweise zeitabhängige oder agentenbasierte Modellierungen ermöglicht (vgl. [Setola u. a., 2012](#); [Oliva u. a., 2010](#)). Diese Erweiterungen sollen bei

diesem Vergleich jedoch nicht betrachtet werden. Input- Output Modelle beschreiben über eine Matrix die Abhängigkeiten zwischen den Inputs und Outputs verschiedener kritischer Infrastrukturen aufeinander. Auf diese Weise ist es möglich zu ermitteln, welche Auswirkung die Störung einer kritischen Infrastruktur auf andere Infrastrukturen hat.

Diese Kategorie von Modellen ist sehr abstrakt und lässt in seiner Basisversion keine Aussagen über einzelne Infrastrukturkomponenten zu. Aus diesem Grund sind auch spatiale Analysen nicht möglich. Zudem müssen die Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Infrastrukturen explizit durch Koeffizienten beschrieben werden. Die Ermittlung dieser Koeffizienten ist zeitaufwändig und für einen Krisenstab während der Bewältigungsphase nicht zu realisieren. Aus diesem Grund bietet sich diese Modellkategorie ebenfalls nicht für den Einsatz im Krisenstab an.

Interdependenz-Graph Modelle

Interdependenz-Graph Modelle sind zeitkontinuierliche Modelle, in welchen die Abhängigkeiten zwischen den Komponenten kritischer Infrastrukturen durch einen Graphen repräsentiert werden (vgl. [Svendsen und Wolthusen, 2012](#)).

Diese Kategorie von Modellen erfordert zum detailliertes Wissen über das zeitliche Verhalten der Infrastrukturkomponenten. Außerdem müssen alle Abhängigkeiten zwischen den Komponenten explizit Modelliert werden. Dies bedeutet einen erheblichen Modellierungsaufwand und kann somit im Krisenstab während der Bewältigungsphase nicht geleistet werden.

4.3.3. Auswahl eines Modellierungsansatzes

Im Rahmen der Analyse der Modellierungsansätze, im letzten Abschnitt, hat sich herausgestellt, dass sich keiner der existierenden Ansätze uneingeschränkt für die Abhängigkeitsanalyse kritischer Infrastrukturen im Krisenstab eignet. Aus diesem Grund soll im Rahmen dieser Arbeit ein ontologiebasierter Ansatz (vgl. [Pahl und Thiel-Clemen, 2013](#)) zur Abhängigkeitsanalyse kritischer Infrastrukturen unter Verwendung von logischer Inferenz verwendet werden.

Ontologien werden im Krisenmanagement heutzutage zur Informationsintegration von Schäden und Hilfeleistungspotentialen (vgl. [Babitski u. a., 2009](#); [Shafiq u. a., 2010](#)), zur Orchestrierung der Prozesse bei der gemeinschaftlichen Krisenbewältigung verschiedener Akteure (vgl. [Truptil u. a., 2010](#)) oder zur Entscheidungsfindung bei der humanitären Hilfe (vgl. [Shamoug u. a., 2012](#)) eingesetzt. Es existiert heute jedoch kein ontologiebasierter Ansatz

für die Analyse der Abhängigkeiten zwischen kritischen Infrastrukturen. Ein ontologiebasierter Ansatz deckt alle im Abschnitt [Anforderungen an einen Modellierungsansatz](#) erläuterten Anforderungen für einen Einsatz im Krisenstab ab.

Ein ontologiebasierter Ansatz hat die folgenden Vorteile:

1. Eine ontologische Beschreibung beinhaltet eine semantische Konzeptionalisierung und löst damit das Problem uneinheitlicher Betrefflichkeiten. Außerdem ermöglicht er einen Austausch von Wissen.
2. Der Ansatz erlaubt eine technikunabhängige Modellierung und Pflege des domänen-spezifischen Wissens.
3. Inferenzregeln können auf Basis der ontologischen Beschreibung formuliert werden und sind unabhängig von einer konkreten Implementierung eines Informationssystems.
4. Durch geospatiale- und temporale Inferenz können räumliche und zeitliche Abhängigkeiten ermittelt werden. Dies ermöglicht Abhängigkeiten zwischen kritischen Infrastrukturen nicht explizit modellieren zu müssen.
5. Semantische Beschreibungen eignen sich besonders zur Erklärung von logischen Schlussfolgerungen. Aus diesem Grund können Erklärungen für die kausalen Ursachen der ermittelten Gefahren erzeugt werden.

Ein ontologiebasierter Ansatz besitzt die folgenden Einschränkungen:

1. Zeitabhängiges Verhalten ist nur sehr eingeschränkt darstellbar. Für alle zeitabhängigen Fakten der Wissensbasis muss ein Zeitraum angegeben werden, in welchem diese gültig sind.
2. Durch die semantische Beschreibung entsteht ein Informationsoverhead, welcher sich nachteilig auf die Performanz des Systems auswirken kann.
3. Alle Infrastrukturkomponenten können nur diskrete, definierte Zustände annehmen.
4. Komplexe, physikalische Wechselwirkungen zwischen Infrastrukturkomponenten können nicht modelliert werden.
5. Viele semantische Technologien sind noch nicht ausgereift. Dies kann zu Problemen bei der Umsetzung des Prototypen führen.

4.4. Zusammenfassung

Auf Basis der ermittelten Herausforderungen eines Krisenstabes bei der Katastrophenbewältigung wurden in diesem Kapitel die Anforderungen an ein konkretes Informationssystem für die Abhängigkeitsanalyse kritischer Infrastrukturen zur Verwendung im Krisenstab spezifiziert. Anschließend wurden die existierenden Modellierungsansätze im Hinblick auf die aufgestellten Anforderungen analysiert. Hierbei hat sich herausgestellt, dass sich alle Ansätze nur bedingt für eine Abhängigkeitsanalyse kritischer Infrastrukturen in einem Krisenstab eignen. Es wurde daher ein ontologiebasierter Ansatz ausgewählt, mit dem sich alle spezifizierten Anforderungen realisieren lassen. Im folgenden Kapitel wird das Informationssystem auf Grundlage der spezifizierten Anforderungen mit dem ausgewählten Modellierungsansatz entworfen.

5. Entwurf

In diesem Kapitel wird der Prototyp für ein Informationssystem zur Abhängigkeitsanalyse kritischer Infrastrukturen auf Basis der Lagedaten eines Krisenstabes entworfen. Dabei werden die im vorherigen Kapitel ermittelten Anforderungen adressiert. Dieses Kapitel unterteilt sich in einen fachlichen und einen technischen Entwurf. Im fachlichen Entwurf werden zunächst die semantische Konzeptionalisierung und Regeln für die Abhängigkeitsanalyse kritischer Infrastrukturen entworfen. Im zweiten Teil wird anschließend der technische Aufbau des Prototypen beschrieben.

5.1. Fachlicher Entwurf

In diesem Abschnitt wird zunächst der, dem Informationssystem zugrunde liegende, Wissensmanagement-Zyklus vorgestellt und darauf eine Beispielontologie zur semantischen Modellierung von Abhängigkeiten von kritischen Infrastrukturen entworfen. Im Anschluss werden dann einige Regeln für die Ermittlung der Abhängigkeiten, auf Basis der entworfenen Konzeptionalisierung, definiert. Im letzten Teil des Abschnitts werden zwei beispielhafte Konsistenzbedingungen für das semantische Modell beschrieben.

5.1.1. Ontologiebasierter Wissensmanagement-Zyklus zur KRITIS-Analyse

In [Pahl und Thiel-Clemen \(2013\)](#) wird ein Wissensmanagement-Zyklus für den Einsatz in Krisenstäben vorgestellt, der dem entwickelten Prototypen zugrunde liegt. Dieser unterteilt die Informationen, die ein Krisenstab für seine Arbeit benötigt, in statische und dynamische Fakten (siehe Abbildung [5.1](#)).

Statische Fakten können bereits vor dem Eintritt einer Krisensituation (Phase 1) gesammelt werden. Hierzu zählen beispielsweise Informationen über die Funktionsweise und Anfälligkeiten von Klassen von Infrastrukturkomponenten. Diese werden durch Externalisierung (siehe [Der Wissenstransformationsprozess](#)) auf Basis der Erfahrung von Krisenmanagern ermittelt. Dynamische Fakten sind erst bei Eintritt einer Krisensituation verfügbar und beschreiben

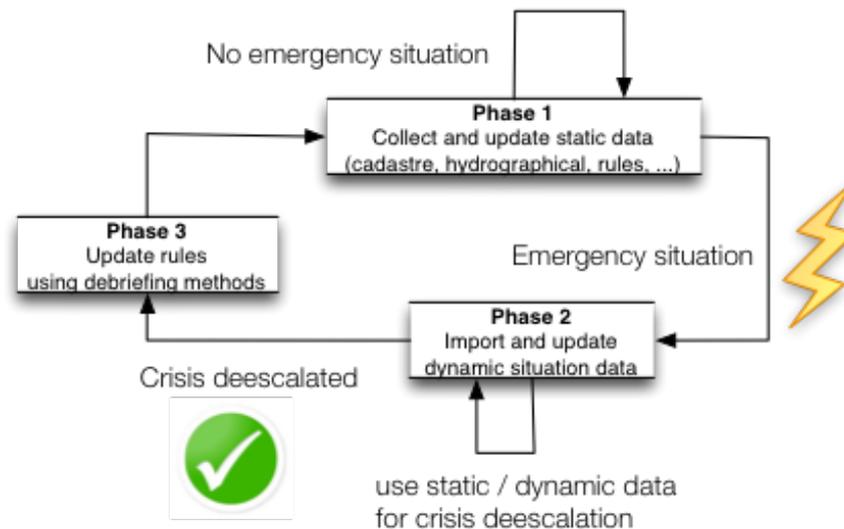


Abbildung 5.1.: Wissensmanagement-Zyklus in Krisenstäben
Quelle: Pahl und Thiel-Clemen (2013)

beispielsweise konkrete Schadensereignisse. Auf diese Weise wird ein konkreter räumlicher und zeitlicher Bezug hergestellt. In Phase 2 werden die dynamischen Fakten eingegeben beziehungsweise importiert. Durch Kombination können diese dann mit den statischen Fakten in Verbindung gebracht werden und so den Krisenstab bei der Lagebeurteilung unterstützen. In Phase 3, nach Ende der Krisensituation, können dann die statischen Fakten auf Basis der gesammelten Erfahrungen aktualisiert und erweitert werden. Für eine automatisierte Kombination von dynamischen und statischen Fakten ist eine strukturierte Beschreibung der Fakten in Form einer Ontologie erforderlich. Diese wird im weiteren Verlauf des fachlichen Entwurfes entwickelt.

5.1.2. Beispielontologie zur Modellierung von Abhängigkeiten von KRITIS

Der Entwurf einer Domänen-Ontologie ist ein komplexer und langwieriger Prozess, welcher über mehrere Iterationen in Zusammenarbeit mit Domänenexperten durchgeführt wird. Die Durchführung dieses Prozesses würde den Rahmen dieser Arbeit übersteigen. Aus diesem Grund soll auf Basis der Grundlagen über kritische Infrastrukturen und unter Verwendung bewährter Entwurfsprinzipien eine Beispielontologie modelliert werden. Die Beispielontologie für die Abhängigkeitsanalyse kritischer Infrastrukturen hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit oder vollständige semantische Konsistenz zur beschriebenen Domäne. Sie kann aber als erster Anhaltspunkt für eine Domänen-Ontologie verwendet werden und soll in dieser

Arbeit zur Demonstration der Möglichkeiten einer ontologiebasierten, semantischen Abhängigkeitsanalyse kritischer Infrastrukturen dienen.

Befähigungsfragen

Befähigungsfragen (siehe [Grüniger und Fox, 1995](#)) sind ein Hilfsmittel für den Entwurf von Domänen-Ontologien. Eine Befähigungsfrage ist eine typische Anfrage, die ein Experte auf einer Wissensbasis seiner Domäne für eine bestimmte Aufgabe ausführen möchte. Grundsätzlich sollte eine angemessene Domänen-Ontologie nur die Konzeptualisierungen spezifizieren, welche benötigt werden, um alle Befähigungsfragen beantworten zu können (vgl. [Staab und Studer, 2009](#)).

Im Folgende werden die wichtigsten Befähigungsfragen aufgeführt, welche mit Hilfe der Ontologie beantwortet werden können sollen:

1. In welchem Betriebszustand befindet sich eine Infrastrukturkomponente zu einem spezifischen Zeitpunkt? (siehe *FA-K5* und *FA-K6*)
2. Welche Dienstleistungen oder Erzeugnisse stellt eine Infrastrukturkomponente zu einem spezifischen Zeitpunkt in welchem Gebiet zur Verfügung? (siehe *FA-K7*)
3. Durch welches Infrastruktur-Konzept wird der Betriebszustand einer Infrastrukturkomponente klassifiziert? (siehe *FA-K11*)
4. Welche Dienstleistungen oder Erzeugnisse werden in einem Betriebszustand benötigt / bereitgestellt? (siehe *FA-K3*, *FA-K4*, *FA-K5*)
5. Welche Dienstleistungen oder Erzeugnisse dürfen in einem Betriebszustand nicht zur Verfügung stehen? (siehe *FA-K3*, *FA-K4*, *FA-K5*)
6. Welche Infrastruktur-Konzepte beschreiben eine konkrete Infrastrukturkomponente? (siehe *FA-K10*)
7. An welcher geografischen Position befindet sich eine Infrastrukturkomponente? (siehe *FA-K2*)
8. Wie lange dauert ein Ereignis, in welchem Bereich findet es statt und welche Umweltzustände besitzt es? (siehe *FA-S2*)
9. Welche Umweltzustände existieren zu einem spezifischen Zeitpunkt an einer spezifischen geografischen Position? (siehe *FA-S2*)
10. Welche Komponenten kritischer Infrastrukturen befinden sich im Ereignisgebiet? (siehe *FA-Lb1*)
11. Welche Gefahren gehen von welchem Betriebszustand aus? (siehe *FA-K12*)

Der Ontologie Stack

In diesem Abschnitt sollen die Elemente der entworfenen Ontologie näher erläutert werden. Zunächst werden die höheren Ontologien vorgestellt, auf denen die zu entwerfende Ontologie aufbaut. Im Anschluss werden dann die domänenspezifischen Begriffe zur Beschreibung der Abhängigkeiten kritischer Infrastrukturen näher erläutert. Abbildung 5.2 stellt den Aufbau des Ontologie-Stacks grafisch dar.

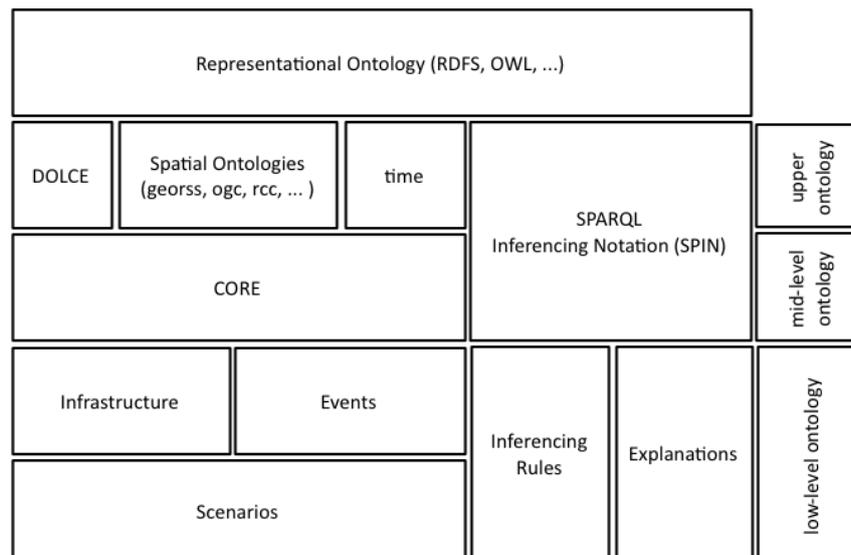


Abbildung 5.2.: Ontologie-Stack der verwendeten Ontologien

DOLCE

DOLCE (siehe [Masolo u. a., 2003](#)) ist eine Grundlagenontologie (*engl.: foundational ontology*). Grundlagenontologien haben einen großen Gültigkeitsbereich, besitzen einen hohen Wiederverwendungsgrad für verschiedene Modellierungsszenarien, sind philosophisch und konzeptionell gut begründet und semantisch transparent (vgl. [Staab und Studer, 2009](#)). DOLCE definiert grundlegende Begriffe bezüglich Objekten, Ereignissen, Eigenschaften und ihren Zusammenhängen.

Spatiale Ontologien

Die Beschreibung räumlicher Abhängigkeiten erfolgt mit Hilfe der Ontologien GeoRSS sowie RCC- und OGC-Extended. Bei GeoRSS (siehe [Lieberman u. a., 2007](#)) handelt es sich um

eine Ontologie zur Beschreibung geospatialer Objekte, wie Punkte, Kreise und Polygone. Die Ontologien RCC- und OGC-Extended dienen zur Beschreibung von Relationen zwischen den mit GeoRSS definierten geometrischen Figuren. Im Prototypen werden diese Ontologie für die geospatale Inferenz mit Parliament (siehe [Battle und Kolas, 2012](#)) verwendet.

Time Ontology

Bei der *Time Ontology* (siehe [Hobbs und Pan, 2006](#)) handelt es sich um eine Ontologie zur Beschreibung temporaler Objekte, wie Zeitpunkten und Zeitintervallen. Der Prototyp verwendet diese Ontologie für die temporale Inferenz mit Parliament (siehe [Battle und Kolas, 2012](#)).

CORE Ontologie

Die CORE Ontologie stellt eine Brückenschicht zwischen den höheren Ontologien und den domänenspezifischen Ontologien dar. Die CORE Ontologie erweitert einige Relationen der höheren Ontologien um fehlende Angaben zu Definitionsbereich (Domain) und Wertebereich (Range). Außerdem bildet diese Ontologie spatiale und temporale Relationen der Time-, RCC- und OGC- Ontologien auf ihre equivalenten Relationen der DOLCE-Ontologie ab und führt Begriffe ein, die in allen Domänen-Ontologien benötigt werden.

Infrastrukturen

Die Infrastruktur-Ontologie enthält die Konzeptionalisierung zur Beschreibung von kritischen Infrastrukturen, Abhängigkeiten zwischen ihnen sowie ihre Anfälligkeit gegenüber Schadensereignissen. Im Folgenden wird das semantische Modell kritischer Infrastrukturen näher erläutert.

Im Rahmen der Analyse wurde ermittelt, dass der Modellierungsaufwand, der für die Beschreibung der kritischen Infrastruktur einer Region erforderlich ist, minimiert werden muss, damit das Informationssystem während der Deeskalationsphase im Krisenstab eingesetzt werden kann. Die Entwurfsidee besteht darin, eine Wissensbasis über Infrastrukturkomponenten anzulegen, die alle Informationen über kritische Infrastrukturen enthält, welche unabhängig vom konkreten Individuum sind. Der erste Schritt für den Entwurf eines Modells besteht daher in der Identifikation der Eigenschaften die pro Individuum individuell sind und derer, die sich auf eine Klasse übertragen lassen. Tabelle 5.1 zeigt die, in der Analyse ermittelten, Eigenschaften einer Infrastrukturkomponente und die Zuordnung nach individuellen beziehungsweise Klassen-Eigenschaften.

Eigenschaft	Individuum	Klasse
Bezeichnung	X	
Geographische Position	X	
Benötigte Inputs		X
Produzierte Outputs		X
Betriebszustand	X	
Versorgungsbereich	X	
Anfälligkeit gegenüber Umweltzuständen		X

Tabelle 5.1.: Kategorisierung der Eigenschaften einer Infrastrukturkomponente nach individuellen und Klassen-Eigenschaften

Ein zweiter Faktor, der für die Modellierung wichtig ist, besteht in der temporalen Variabilität der Eigenschaften. Alle Aussagen einer semantischen Beschreibung gelten, ohne weitere Einschränkung, unabhängig von der Zeit. Ist eine Eigenschaft zeitlich variabel, kann dies durch verschiedene Instanzen einer Eigenschaft in Abhängigkeit der Zeit formuliert werden (vgl. Masolo u. a., 2003). Tabelle 5.2 stellt die Kategorisierung der Eigenschaften einer Infrastruktur nach temporaler Konstanz beziehungsweise Variabilität dar.

Eigenschaft	Konstant	Variabel
Bezeichnung	X	
Geographische Position	X	
Benötigte Inputs		X
Produzierte Outputs		X
Betriebszustand		X
Versorgungsbereich		X
Anfälligkeit gegenüber Umweltzuständen	X	

Tabelle 5.2.: Kategorisierung der Eigenschaften einer Infrastrukturkomponente nach zeitlich konstanten und variablen Eigenschaften

Unter Berücksichtigung der oben genannten Kategorisierungen lässt sich eine Infrastrukturkomponente durch das fachliche Datenmodell von Abbildung 5.3 beschreiben. Referenzen zu Klassen außerhalb des Infrastrukturkontextes werden an dieser Stelle der Übersichtlichkeit halber nicht dargestellt. Sie werden im Anschluss bei der Erläuterung der semantischen Modellierung aufgeführt.

Eine *Infrastructure* besitzt alle individuellen und zeitlich konstanten Eigenschaften einer Infrastrukturkomponente. Dies sind die Eigenschaften *label* (Bezeichnung) sowie *spatial-location* (geographische Position). Der Betriebszustand einer Infrastrukturkomponente ist individuell

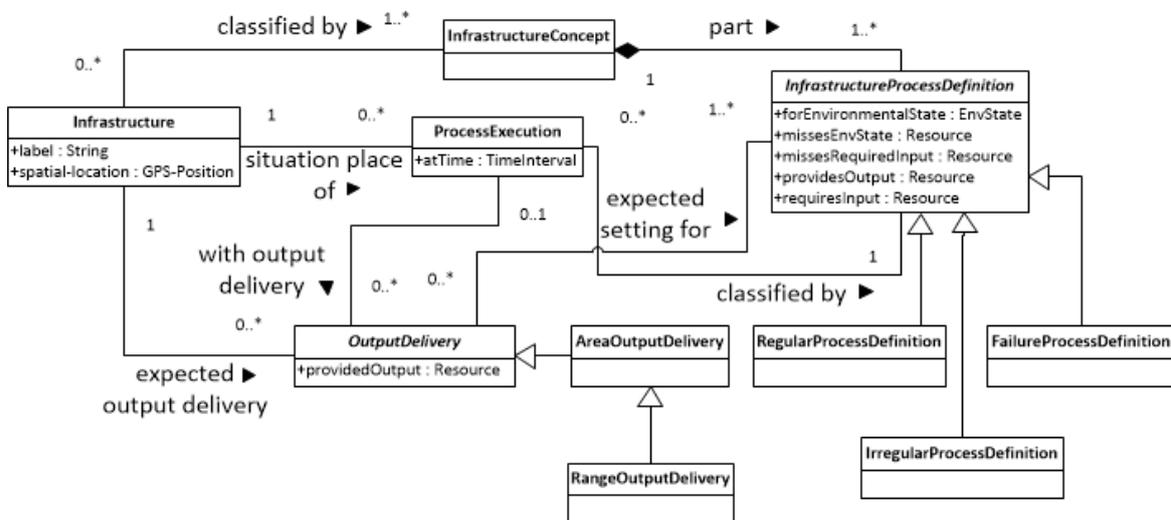


Abbildung 5.3.: Fachliches Datenmodell einer Infrastrukturkomponente

und verändert sich über die Zeit, in Abhängigkeit der verfügbaren Outputs anderer Infrastrukturen sowie den Umweltzuständen an der Position der Infrastrukturkomponente. Der Betriebszustand wird durch zwei Konzepte im fachlichen Datenmodell abgebildet. Eine *ProcessExecution* (Prozessausführung) modelliert den Zustand einer Infrastrukturkomponente innerhalb eines spezifischen Zeitintervalls. Die benötigten Inputs und produzierten Outputs innerhalb eines Betriebszustands sind auf eine Klasse von Infrastrukturkomponenten übertragbar und werden deshalb durch das Konzept *InfrastructureProcessDefinition* (Prozessdefinition) beschrieben. Somit ist die funktionale Beschreibung einer Infrastrukturkomponente unabhängig vom Individuum und kann für die Beschreibung einer Klasse von Infrastrukturkomponenten verwendet werden. Eine Prozessdefinition kann einen regulären, einen irregulären oder einen Ausfall-Betriebszustand beschreiben (siehe FA-K9). Die Prozessdefinitionen für die verschiedenen Betriebszustände einer Klasse von Infrastrukturkomponenten sind Teile von Infrastruktur-Konzepten. Die Funktionsweise von Infrastrukturkomponenten kann durch ein Infrastruktur-Konzept oder mehrere Infrastruktur-Konzepte klassifiziert werden.

Die Bestimmung in welchem Betriebszustand sich eine Infrastrukturkomponente voraussichtlich befindet, soll durch das Informationssystem realisiert werden. Hierzu müssen die Prozessausführungen für jede Infrastrukturkomponente ermittelt werden. Um die vom Informationssystem zu bestimmenden Prozessausführungen von den, durch den Anwender zu modellierenden, Versorgungsbereichen zu trennen, wird das Konzept *OutputDelivery* (Output-Auslieferung) eingeführt. Jede Infrastrukturkomponente besitzt für jeden Output, den sie zur Verfügung stellen kann, eine Output-Auslieferung. Eine Output-Auslieferung gibt an, welche Outputs welcher Prozessdefinition in welchem Gebiet zur Verfügung gestellt werden. Eine

ermittelte Prozessausführung referenziert dann die Output-Auslieferungen, die während der Prozessausführung aktiv sind. In den folgenden Abschnitten wird auf die semantische Modellierung der vorgestellten Konzepte näher eingegangen.

Semantische Modellierung von Infrastrukturkomponenten: Abbildung 5.4 zeigt das semantische Modell einer Infrastrukturkomponente. Eine Infrastrukturkomponente ist ein geografisches Objekt (`geographical-object`), welches durch mindestens ein Infrastruktur-Konzept klassifiziert (`classified-by`) wird (siehe Anforderung *FA-K10* und *FA-K11*).

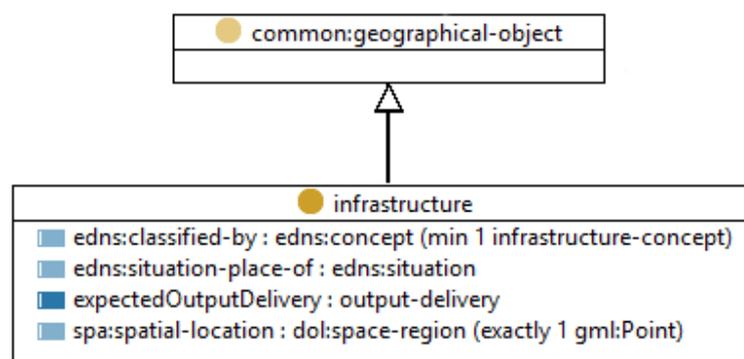


Abbildung 5.4.: Semantische Beschreibung einer Infrastruktur

Der Betriebszustand (siehe *FA-K5*), in dem sich eine Infrastruktur befindet, wird durch eine Prozessausführung (`process-execution`), einem Unterbegriff einer Situation (`situation`), beschrieben. Die Zuordnung von Prozessausführungen zu einer Infrastrukturkomponente erfolgt über das Prädikat `situation-place-of`.

Eine Infrastrukturkomponente muss für jede Dienstleistung oder jedes Erzeugnis (*Output*), welches sie in einer Prozessausführung zur Verfügung stellt, mindestens einen Ort definieren, an dem diese verfügbar sind (siehe *FA-K7*). Die Zuordnung von Output zu Ort erfolgt über Output-Auslieferungen (`output-delivery`). Eine Output-Auslieferung wird einer Infrastrukturkomponente über das Prädikat `expectedOutputDelivery` zugeordnet. Die Position, an welcher sich eine Infrastrukturkomponente befindet, wird über das Prädikat `spatial-location` festgelegt (siehe *FA-K2*).

Semantische Modellierung von Prozessausführungen und Output-Auslieferungen: Prozessausführungen sind Situationen, die durch eine Infrastruktur-Prozessdefinition klassifiziert (`classified-by`) werden, innerhalb eines Zeitintervalls stattfinden (`atTime`)

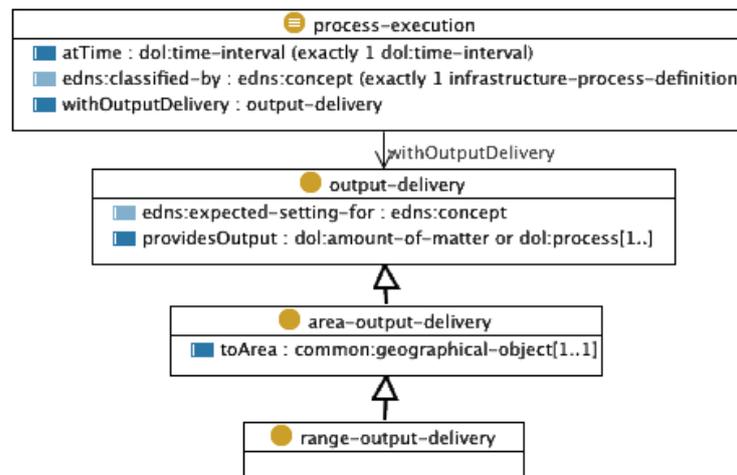


Abbildung 5.5.: Semantische Beschreibung von Prozessausführungen und Output-Auslieferungen

und in dieser Zeit Outputs an einem Ort zur Verfügung stellen (`withOutputDelivery`). Abbildung 5.5 stellt diese Beziehungen grafisch dar.

Eine Output-Auslieferung ist eine erwartete Situation (`expected-setting-for`) einer Infrastruktur-Prozessdefinition. Jede Output-Auslieferung stellt mindestens einen Output zur Verfügung (`providesOutput`). Bei einem Output kann es sich entweder um eine Dienstleistung vom Typ Prozess oder ein nicht quantifiziertes Erzeugnis (`amount-of-matter`) handeln (siehe *FA-K3*).

Es gibt zwei Untertypen einer Output-Auslieferung: eine Bereichs-Output-Auslieferung (`area-output-delivery`) und eine Reichweiten-Output-Auslieferung (`range-output-delivery`) (siehe *FA-K8*). Bei einer Reichweiten-Output-Auslieferung wird der Output in einem kreisförmigen Bereich zur Verfügung gestellt. Die Infrastruktur bestimmt den Mittelpunkt des Kreises und der Radius wird durch die Reichweite festgelegt. Im Gegensatz dazu wird der Output bei einer Bereichs-Output-Auslieferung in einem beliebigen geografischen Bereich zur Verfügung gestellt.

Semantische Modellierung von Infrastruktur-Konzept und Prozessdefinition: Ein Infrastruktur-Konzept besteht aus einem, oder im Normalfall mehreren Infrastruktur-Prozessdefinitionen (`part`). Es gibt drei verschiedene Arten von Prozessdefinitionen: reguläre Infrastruktur-Prozesse, irreguläre Infrastruktur-Prozesse und Ausfall-Infrastruktur-Prozesse (siehe *FA-K9*). Ist eine Infrastrukturkomponente in einem regulären Betriebszustand, stellt sie alle Outputs uneingeschränkt zur Verfügung. Eine Infrastruktur in einem irregulären Zustand ist in ihrer Funktionalität beeinträchtigt, ist aber dennoch in der Lage

einen Teil ihrer Aufgabe zu erfüllen. Beispielsweise wäre ein überflutetes Wasserwerk, welches nur noch verunreinigtes Trinkwasser zur Verfügung stellen kann, eine Infrastruktur in einem irregulären Betriebszustand. Ist eine Infrastruktur in einem Ausfall-Betriebszustand, stellt sie keine ihrer regulären Outputs zur Verfügung. Abbildung 5.6 stellt Infrastruktur-Konzept und Prozessdefinition grafisch dar.

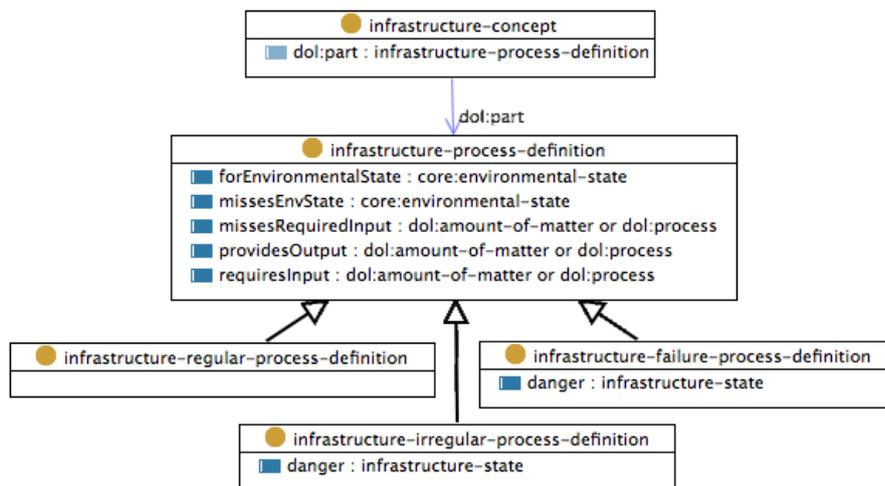


Abbildung 5.6.: Semantische Beschreibung von Infrastruktur-Konzept und Prozessdefinition

Die Prozessdefinition für Komponenten kritischer Infrastrukturen wurde in Anlehnung an das Reactor Ontologie-Design-Pattern entworfen (vgl. [Reactor-Pattern, 2012](#)). Für jede Prozessdefinition kann angegeben werden, welche Inputs benötigt werden (`requiresInput`), welche Outputs zur Verfügung gestellt werden (`providesOutput`), welche Inputs möglicherweise fehlen (`missesRequiredInput`), welche Umweltzustände in diesem Zustand vorhanden sein müssen (`forEnvironmentalState`) oder welche Umweltzustände nicht vorhanden sein dürfen (`missesEnvState`).

Ein Umspannwerk würde beispielsweise im regulären Betriebszustand als Input Strom einer bestimmten Spannung benötigen und einer anderen Spannung zur Verfügung stellen, für den Fall, dass es nicht überflutet ist. Gleichzeitig würde eine Ausfall-Prozessdefinition vorliegen, die angibt, dass ein überflutetes Umspannwerk keinen Strom zur Verfügung stellen kann.

Die Gefahren, die von einem nicht regulären Betriebszustand ausgehen können, werden über das Prädikat `danger` angegeben (siehe *FA-K12*). Ein ausgefallenes Umspannwerk stellt beispielsweise eine Gefahr für einen Stromausfall dar.

Ereignisse

Die Konzeptionalisierung von Ereignissen wird in der Event Ontologie definiert. In Anlehnung an Babitski u. a. (2009) wird zwischen zwei unterschiedlichen Arten von Ereignissen unterschieden: Schäden (*Damage*) und Gefahren (*Danger*), welche wiederum Spezialisierungen von Problemen (*Problem*) sind. Auf einer Lagekarte werden ausschließlich Fakten, eingetretene Schäden, eingetragen (siehe *FA-Ld2*). Für die Lagebeurteilung sind jedoch auch Gefahren von Bedeutung, aus welchen sich Schäden entwickeln können. Abbildung 5.7 visualisiert diese Begriffe.

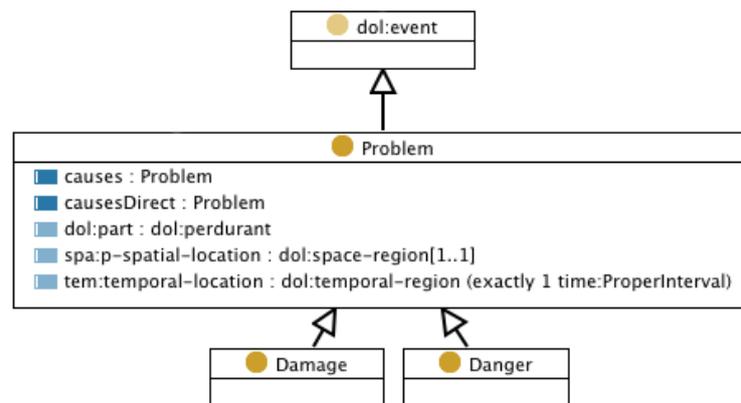


Abbildung 5.7.: Semantische Beschreibung von Ereignissen

Jedes Problem kann die Ursache für ein anderes Problem sein (siehe *FA-Lb5*). Da es sich bei *causes* um ein transitives Prädikat handelt, wird zusätzlich die Information über eine direkte kausale Verbindung zwischen zwei Problemen benötigt (*causesDirect*). Ein Problem besteht aus Zuständen (*part*), wie beispielsweise Überschwemmung, Sturm oder Stromausfall. Des Weiteren findet ein Problem an einem Ort (*p-spatial-location*) und zu einer bestimmten Zeit (*temporal-location*) statt.

Szenarien

Ein Szenario enthält die semantischen Beschreibungen von spezifischen Komponenten kritischer Infrastrukturen und Ereignissen. Szenarien dienen der Gruppierung von Wissen über Infrastrukturen und Ereignissen im Kontext einer Krisensituation (siehe *FA-Ld6* und *FA-Ld7*).

SPARQL Inferencing Notation

Die SPARQL Inferencing Notation (kurz: SPIN) (vgl. [Knublauch u. a., 2011](#)) ist eine Ontologie, welche eine semantische Beschreibung für Inferenzregeln auf der Basis von SPARQL definiert. Die semantische Beschreibung von Inferenzregeln hat den Vorteil, dass diese zusammen mit anderen Fakten in der Wissensbasis abgelegt und geteilt werden können.

Inferenzregeln

Inferenzregeln sind Instanzen von Konzepten der SPARQL Inferencing Notation. Diese werden zur Beschreibung von Regeln für die Bestimmung von Betriebszuständen und zur Durchführung von Konsistenzprüfungen verwendet. Eine nähere Erläuterung der Inferenzregeln folgt im Abschnitt [Spatio-temporale Inferenz der Betriebszustände](#).

Erklärungen

Die Ontologie Explanations enthält die Konzeptionalisierung von Erklärungen zu Inferenzregeln (siehe *FA-Lb9*). Erklärungen einer Schlussfolgerung erläutern, welche Variablenbelegung zu der ermittelten Schlussfolgerung geführt hat. Eine Erklärung beschreibt die Schlussfolgerung genau einer SPIN-Regel und beinhaltet beliebig viele Variablenbelegungen. Eine Variablenbelegung besitzt einen Variablennamen und einen gebundenen Wert.

5.1.3. Spatio-temporale Inferenz der Betriebszustände

In diesem Abschnitt sollen die spatio-temporalen Inferenz-Regeln, auf Basis der im letzten Abschnitt entworfenen Beispielontologie, mit Hilfe von Prädikatenlogik erläutert werden. Die spatio-temporale Inferenz wird im Prototypen dafür verwendet, die Betriebszustände für jede Infrastrukturkomponente zu ermitteln. Durch das Ableiten der Betriebszustände der Infrastrukturkomponenten werden die implizit in der Wissensbasis enthaltenen Informationen über die voraussichtlichen Zustände der Infrastrukturkomponenten durch Kombination in explizite Fakten überführt (siehe [Der Wissenstransformationsprozess](#)).

Bei der Bestimmung der Betriebszustände einer Infrastrukturkomponente wird davon ausgegangen, dass der Betriebszustand von zwei Faktoren abhängig ist. Zum einen von den, durch Schadensereignisse verursachten, Umweltzuständen an der Position der Infrastrukturkomponente. Zum anderen von den Betriebszuständen anderer Infrastrukturkomponenten, die im regulären Betriebszustand eine Infrastrukturkomponente mit den benötigten Inputs versorgen (siehe *FA-K6*).

Wie im Abschnitt [Infrastrukturen](#) ermittelt, verändert sich der Betriebszustand einer Infrastrukturkomponente im Verlauf der Zeit. Angenommen es wird ein einstündiges Schadenereignis in das Informationssystem eingetragen, dann müssen für jede Infrastrukturkomponente jeweils drei Betriebszustände ermittelt werden. Der Zustand vor Eintritt des Schadenereignisses, währenddessen und danach. Existieren mehrere Ereignisse, die sich zeitlich überlagern, müssen die Betriebszustände für alle Teilintervalle bestimmt werden, da diese potenziell zu unterschiedlichen Betriebszuständen der Infrastrukturkomponenten führen können.

In diesem Abschnitt werden die Inferenzregeln zur Ableitung der Betriebszustände erläutert. Hierfür wird zunächst erklärt, was einfache Prädikate sind und wie diese zu abgeleiteten Prädikaten kombiniert werden können. Abgeleitete Prädikate dienen der Unterteilung der Inferenzregeln in wiederverwendbare Untereinheiten. Abgeleitete Prädikate werden im Prototyp beispielsweise zur Bestimmung von Basisintervallen verwendet oder erlauben Aussagen darüber zu formulieren, ob ein Input zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort vorhanden ist. Nachdem die abgeleiteten Prädikate für den Prototyp erläutert wurden, werden daraufhin die Inferenzregeln zur Bestimmung der Betriebszustände der Infrastrukturkomponenten beschrieben.

Einfache Prädikate

Jedes im Abschnitt [Beispielontologie zur Modellierung von Abhängigkeiten von KRITIS](#) vorgestellte Prädikat ist ein einfaches Prädikat. Ein Prädikat der Form $\text{prädikat}(\text{subjekt}, \text{objekt})$ gibt an, ob das Tripel bestehend aus Subjekt, Prädikat und Objekt in der Wissensbasis enthalten ist.

Ein Prädikat der Form $\text{Begriff}(\text{variable})$ ist dann wahr, wenn das an die Variable gebundene Individuum vom Typ *Begriff* ist.

Die Prädikate der Ontologien *GeoRSS* sowie *RCC- und OGC-Extended* werden für die geospatiale Inferenz verwendet. Das Prädikat $\text{partOfLocation}(x, y)$ gibt an, ob x ein geografischer Teil von y ist.

Die *Time Ontology* definiert Prädikate für die temporale Inferenz. [Abbildung 5.8](#) stellt einige Relationen zwischen Intervallen dar.

Neben den Relationen zwischen Intervallen, wird im Folgenden das Prädikat $\text{inside}(x, y)$ verwendet, welches angibt, dass der Zeitpunkt x innerhalb des Intervalls y liegt. Außerdem geben die Prädikate $\text{before}(x, z)$ und $\text{after}(x, z)$ an, ob der Zeitpunkt x vor, beziehungsweise nach Zeitpunkt z liegt.

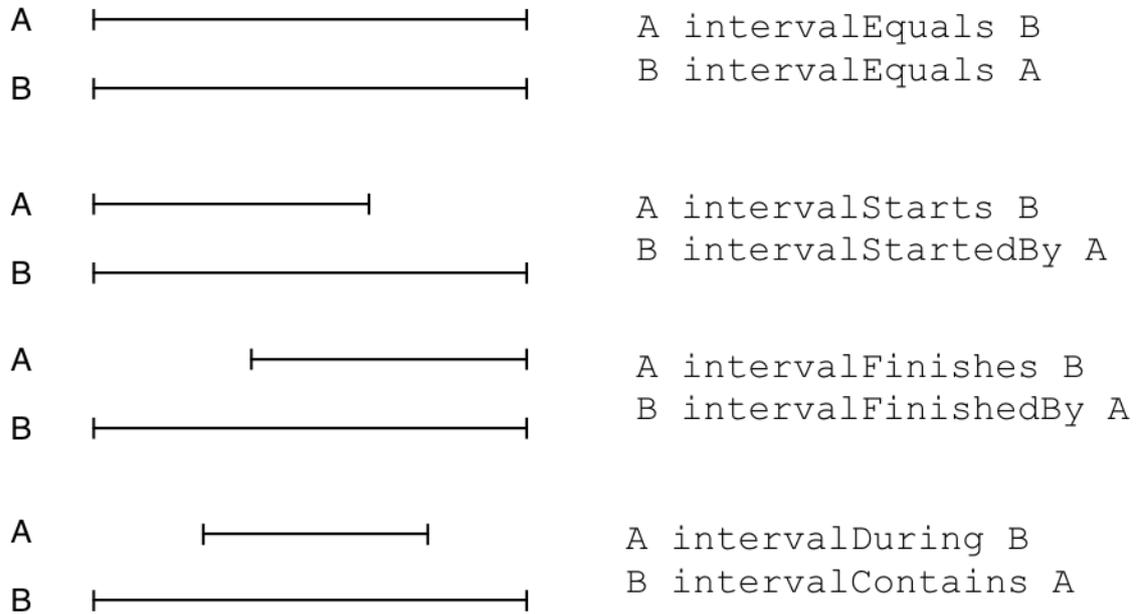


Abbildung 5.8.: Relationen zwischen Intervallen

Abgeleitete Prädikate

Abgeleitete Prädikate sind Prädikate, welche die oben beschriebenen einfachen Prädikate um zusätzliche Bedingungen erweitern. In diesem Abschnitt werden die abgeleiteten Prädikate definiert.

Basisintervalle: Ein Basisintervall ist ein ordentliches Interval (`ProperInterval`), dass sich nicht mit anderen Zeitintervallen überschneidet.

$$BaseInterval(x) \triangleq ProperInterval(x) \wedge \neg \exists y (inside(y, x)) \quad (5.1)$$

$$baseInterval(x, y) \triangleq Instant(x) \wedge Instant(y) \wedge before(x, y) \\ \wedge \neg \exists z (after(z, x) \wedge before(z, y)) \quad (5.2)$$

Basisintervalle werden dazu benötigt, um Aussagen über die Existenz eines Zustands oder Outputs machen zu können. Bei sich teilweise überschneidenden Intervallen kann die Frage nach der Existenz nicht immer für das gesamte Intervall einheitlich mit Ja oder Nein beantwortet werden.

Vollständig vorhandene Zeitintervalle: Ein Intervall y ist in einem anderen Intervall x vollständig vorhanden, wenn y vor oder mit x beginnt und nach oder mit x aufhört.

$$\begin{aligned}
\text{completelyPresentInterval}(x, y) &\triangleq \text{ProperInterval}(x) \wedge \text{ProperInterval}(y) \\
&\wedge (\text{intervalEquals}(x, y) \vee \text{intervalDuring}(x, y) \\
&\vee \text{intervalStarts}(x, y) \vee \text{intervalFinishes}(x, y))
\end{aligned} \tag{5.3}$$

Präsenz von Inputs: Folgendes Prädikat gibt an, ob für eine Infrastruktur-Prozessdefinition x , an einem Ort y , innerhalb eines Intervalls z , alle benötigten Inputs verfügbar sind.

$$\begin{aligned}
&\text{existsAllInputForProcessDefForLocationAtTime}(x, y, z) \\
&\triangleq \text{InfrastructureProcessDefinition}(x) \wedge \text{Point}(y) \wedge \text{ProperInterval}(z) \\
&\wedge \forall \text{input}(\text{requiresInput}(x, \text{input}) \rightarrow \\
&\exists \text{interval}, \text{processExecution}, \text{outputDelivery}, \text{area}, \text{location} \\
&(\text{completelyPresentInterval}(z, \text{interval}) \wedge \text{atTime}(\text{processExecution}, \text{interval}) \\
&\wedge \text{withOutputDelivery}(\text{processExecution}, \text{outputDelivery}) \\
&\wedge \text{toArea}(\text{outputDelivery}, \text{area}) \wedge \text{spatialLocation}(\text{area}, \text{location}) \\
&\wedge \text{partOfLocation}(y, \text{location}) \wedge \text{providesOutput}(\text{outputDelivery}, \text{input})))
\end{aligned} \tag{5.4}$$

Fehlen von Inputs: Folgendes Prädikat gibt an, ob für eine Infrastruktur-Prozessdefinition x , an einem Ort y , innerhalb eines Intervalls z , kein Input, der nicht vorhanden sein darf, verfügbar ist.

$$\begin{aligned}
&\text{missesAllInputForProcessDefForLocationAtTime}(x, y, z) \\
&\triangleq \text{InfrastructureProcessDefinition}(x) \wedge \text{Point}(y) \wedge \text{ProperInterval}(z) \\
&\wedge \forall \text{input}(\text{missesRequiredInput}(x, \text{input}) \rightarrow \\
&\neg \exists \text{interval}, \text{processExecution}, \text{outputDelivery}, \text{area}, \text{location} \\
&(\text{completelyPresentInterval}(z, \text{interval}) \wedge \text{atTime}(\text{processExecution}, \text{interval}) \\
&\wedge \text{withOutputDelivery}(\text{processExecution}, \text{outputDelivery}) \\
&\wedge \text{toArea}(\text{outputDelivery}, \text{area}) \wedge \text{spatialLocation}(\text{area}, \text{location}) \\
&\wedge \text{partOfLocation}(y, \text{location}) \wedge \text{providesOutput}(\text{outputDelivery}, \text{input})))
\end{aligned} \tag{5.5}$$

Teil- Ganzes- Beziehung: Folgendes Prädikat gibt an, ob y ein Teil oder Teil eines Teils von x ist.

$$partOrSubpart(x, y) \triangleq part(x, y) \vee \exists z(part(x, z) \wedge partOrSubpart(z, y)) \quad (5.6)$$

Präsenz von Umweltzuständen: Folgendes Prädikat gibt an, ob ein Umweltzustand x und alle seine Teilzustände, an einem Ort y , innerhalb eines Intervalls z , vorhanden sind.

$$\begin{aligned} &existsEnvStateForLocationAtTime(x, y, z) \\ &\triangleq EnvironmentalState(x) \wedge Point(y) \wedge ProperInterval(z) \\ &\wedge \forall state((x = state \vee partOrSubpart(x, state)) \rightarrow \\ &\exists interval, problem, location \\ &(completelyPresentInterval(z, interval) \wedge temporalLocationOf(interval, problem) \\ &\wedge pSpatialLocation(problem, location) \wedge partOfLocation(y, location) \\ &\wedge partOrSubpart(problem, state))) \end{aligned} \quad (5.7)$$

Fehlen von Umweltzuständen: Folgendes Prädikat gibt an, ob für eine Infrastruktur-Prozessdefinition x alle nicht erlaubten Umweltzustände und alle Teilzustände, an einem Ort y , innerhalb eines Intervalls z fehlen.

$$\begin{aligned} &missesAllEnvStatesForProcessDefForLocationAtTime(x, y, z) \\ &\triangleq InfrastructureProcessDefinition(x) \wedge Point(y) \wedge ProperInterval(z) \\ &\wedge \forall state((\exists state2(missesEnvState(x, state2) \\ &\wedge (state = state2 \vee partOrSubpart(state2, state)))) \rightarrow \\ &\neg \exists interval, problem, location \\ &(completelyPresentInterval(z, interval) \wedge temporalLocationOf(interval, problem) \\ &\wedge pSpatialLocation(problem, location) \wedge partOfLocation(y, location) \\ &\wedge partOrSubpart(problem, state))) \end{aligned} \quad (5.8)$$

Inferenz-Regeln

Inferenz-Regeln werden zur Umwandlung von implizitem zu explizitem Wissen verwendet. Jede Inferenzregel besitzt eine Prämisse und eine Konklusion und hat die Form *Konklusion* \leftarrow *Prämisse*. Wenn die Prämisse wahr ist, werden die Fakten der Konklusion zur Wissensbasis hinzugefügt, sofern diese noch nicht existieren.

Basisintervalle: Die folgende Inferenzregel erzeugt alle Basisintervalle aus den Intervallen der Wissensbasis, damit diese für die Inferenz der Prozessausführungen zur Verfügung stehen.

$$\begin{aligned} & \exists x (\text{ProperInterval}(x) \wedge \text{hasBeginning}(x, \text{beginning}) \wedge \text{hasEnd}(x, \text{end})) \\ & \leftarrow \text{baseInterval}(\text{beginning}, \text{end}) \end{aligned} \quad (5.9)$$

Prozessausführung: Durch die folgende Inferenzregel wird für jede Infrastruktur die Prozessausführung für jedes Basisintervall bestimmt. Im ersten Teil der Prämisse werden die Variablen *definition*, *concept*, *infrastructure*, *location*, *interval* und *envState* unifiziert. Anschließend wird für jede Unifizierung die Gültigkeit der abgeleiteten Prädikate überprüft.

$$\begin{aligned} & \exists x (\text{ProcessExecution}(x) \wedge \text{situationPlaceOf}(\text{infrastructure}, x) \\ & \wedge \text{classifiedBy}(x, \text{definition}) \wedge \text{atTime}(x, \text{interval}) \\ & \wedge \text{withOutputDelivery}(x, \text{outputDelivery})) \leftarrow \\ & \exists \text{concept}, \text{location}, \text{envState} \\ & (\text{part}(\text{concept}, \text{definition}) \wedge \text{InfrastructureProcessDefinition}(\text{definition}) \\ & \wedge \text{classifiedBy}(\text{infrastructure}, \text{concept}) \wedge \text{spatialLocation}(\text{infrastructure}, \text{location}) \\ & \wedge \text{BaseInterval}(\text{interval}) \wedge (\text{forEnvironmentalState}(\text{definition}, \text{envState}) \rightarrow \\ & \text{existsEnvStateForLocationAtTime}(\text{envState}, \text{location}, \text{interval})) \\ & \wedge \text{existsAllInputForProcessDefForLocationAtTime}(\text{definition}, \text{location}, \text{interval}) \\ & \wedge \text{missesAllInputForProcessDefForLocationAtTime}(\text{definition}, \text{location}, \text{interval}) \\ & \wedge \text{expectedOutputDelivery}(\text{infrastructure}, \text{outputDelivery}) \\ & \wedge \text{expectedSettingFor}(\text{outputDelivery}, \text{definition}) \end{aligned} \quad (5.10)$$

Gefahren von Infrastruktur-Betriebszuständen: Folgende Inferenzregel gibt an, wann ein Problem ein anderes Problem unmittelbar bedingt. Wenn ein Problem (*problem*) existiert, welches entweder einen Umweltzustand (*envState*) verursacht, oder welches den Wegfall eines Outputs (*output*) zur Folge hat und darauf hin eine Infrastrukturkomponente (*infrastructure*) in einen Betriebszustand (*processExec*) übergeht, der eine Gefahr (*danger*) birgt, dann bedingt das Problem diese Gefahr. Die räumliche Lokation dieses Problems ist der Bereich (*area*), welcher durch die Infrastrukturkomponente vor dem Eintritt

des Problems mit dem Output versorgt wurde.

$$\begin{aligned}
& \exists x(Danger(x) \wedge part(x, danger) \wedge duration(x, interval) \\
& \wedge pSpatialLocation(x, location) \wedge causesDirect(problem, x) \leftarrow \\
& \exists failureInterval, processExec, processDef, infrastructure \\
& outputDelivery, problemLocation, infraLocation, output, area \\
& (Problem(problem) \wedge duration(problem, interval) \\
& \wedge intervalSameBeginning(interval, failureInterval) \\
& \wedge atTime(processExec, failureInterval) \wedge classifiedBy(processExec, processDef) \\
& \wedge danger(processDef, danger) \wedge situationPlaceOf(infrastructure, processExec) \\
& \wedge expectedOutputDelivery(infrastructure, outputDelivery) \\
& \wedge pSpatialLocation(problem, problemLocation) \\
& \wedge spatialLocation(infrastructure, infraLocation) \\
& \wedge partOfLocation(infraLocation, problemLocation) \\
& \wedge providesOutput(outputDelivery, output) \wedge inputNotAvailable(danger, output) \\
& \wedge toArea(outputDelivery, area) \wedge spatialLocation(area, location) \\
& \wedge \exists envState(forEnvironmentalState(processDef, envState) \rightarrow \\
& partOrSubpart(problem, envState)) \\
& \wedge \exists input(missesRequiredInput(processDef, input) \rightarrow \\
& \exists part(partOrSubpart(problem, part) \wedge inputNotAvailable(part, input))) \quad (5.11)
\end{aligned}$$

Wenn ein Problem x ein anderes Problem y unmittelbar bedingt, dann bedingt es dieses Problem auch mittelbar. Das Prädikat $causes$ ist im Gegenteil zu $causesDirect$ transitiv definiert.

$$causes(x, y) \leftarrow causesDirect(x, y) \quad (5.12)$$

Nichtmonotonie der Inferenz

Eine Ableitbarkeitsrelation \vdash ist genau dann monoton, wenn gilt: $\Gamma \vdash A$, dann $\Gamma \cup \Delta \vdash A$. Wenn zu einer Menge an Fakten Γ weitere Fakten Δ hinzugefügt werden, bleiben die bisherigen Folgerungen A erhalten. Diese Eigenschaft ist für die Prozessausführungs-Inferenzregel nicht gegeben, da die Gültigkeit der Prämisse von den Fakten, die durch die Konklusion erzeugt werden, abhängig ist. Diese Art von Logik wird auch als *nichtmonotone Logik* bezeichnet (vgl. [Boersch u. a., 2007](#)).

Angenommen es existiert ein Umspannwerk, welches ein Krankenhaus mit Strom versorgt. Das Krankenhaus ist im regulären Betriebszustand, wenn es eine Prozessausführung gibt, die besagt, dass Strom an der Position des Krankenhauses zur Verfügung gestellt wird.

Zu Beginn der Inferenz existiert keine Prozessausführung für das Umspannwerk. Wenn die Prozessausführung für das Krankenhaus vor der Prozessausführung für das Umspannwerk abgeleitet wird, erhält man somit ein anderes Ergebnis, als für die umgekehrte Regelausführungsreihenfolge. Bei längeren Abhängigkeitsketten bedarf es aus diesem Grund mehrerer Iterationen der Inferenz-Engine, bis die Wissensbasis einen konsistenten Zustand annimmt. In jedem Iterationsschritt müssen die Prädikate der Prämissen aller Prozessausführungen auf ihre Gültigkeit überprüft werden. Alle Prozessausführungen mit nicht mehr gültigen Prämissen werden wieder aus der Wissensbasis zurückgezogen.

5.1.4. Datenkonsistenz

Nach Anforderung *TA-D1* soll es möglich sein, Inkonsistenzen in der Wissensbasis zu ermitteln. Die Sicherstellung der Datenkonsistenz soll über Konsistenzbedingungen realisiert werden, welche zu jedem Zeitpunkt für alle Fakten in der Wissensbasis erfüllt sein müssen. Im Folgenden sollen zwei Beispiele für Konsistenzbedingungen erläutert werden.

Existenz von Output-Auslieferungen für Outputs

Welche Outputs eine Infrastrukturkomponente erzeugt wird durch die Infrastruktur-Konzepte angegeben, welche die Komponente realisiert. Für jeden Output den eine Infrastrukturkomponente erzeugen kann, muss ein Gebiet spezifiziert werden, in welchem dieser Output zur Verfügung gestellt wird. Diese Konsistenzbedingung wird durch die nachfolgende Regel ausgedrückt.

$$\begin{aligned} & \forall infrastructure (\exists concept, processDef (classifiedBy(in\ infrastructure, concept) \\ & \wedge part(concept, processDef) \wedge \forall output (providesOutput(processDef, output) \rightarrow \\ & \exists outputDelivery (expectedOutputDelivery(in\ infrastructure, outputDelivery) \\ & \wedge providesOutput(outputDelivery, output)))))) \end{aligned} \quad (5.13)$$

Prüfung auf regulären Betriebszustand vor Eintritt eines Schadensereignisses

Es wird davon ausgegangen, dass Infrastrukturkomponenten nur durch den Eintritt eines Problems in ihrer Funktion beeinträchtigt werden. Vor dem Eintritt eines Schadensereignisses müssen demnach alle kritischen Infrastrukturen voll funktionsfähig sein. Der folgende Ausdruck definiert diese Konsistenzbedingung:

$$\begin{aligned} & \forall processExec(\exists interval, beginning, processDef(atTime(processExec, interval) \\ & \wedge hasBeginning(interval, beginning) \wedge beginning = unspecifiedBeginning \\ & \wedge classifiedBy(processExec, processDef) \rightarrow \\ & InfrastructureRegularProcessDefinition(processDef))) \end{aligned} \quad (5.14)$$

Bei *unspecifiedBeginning* handelt es sich um eine Individuenkonstante, welche einen Zeitpunkt definiert, der vor jedem, in der Wissensbasis vorhandenem, Ereignis liegt. Somit ist *unspecifiedBeginning* immer der Beginn der zeitlich ersten Prozessausführung jeder Infrastrukturkomponente. Diese zeitlich erste Prozessausführung muss durch eine reguläre Prozessdefinition charakterisiert sein.

5.2. Technischer Entwurf

Dieser Abschnitt erläutert den technischen Aufbau des zu entwerfenden Prototypen. Da eine detaillierte Beschreibung aller Realisierungsdetails des Prototypen den Rahmen der Arbeit übersteigen würde, soll an dieser Stelle nur auf die wichtigsten Aspekte eingegangen werden. Zunächst soll die passende Technologie für den Entwurf des Prototypen ausgewählt werden. Im Anschluss wird ein Überblick über die technische Architektur des Prototypen gegeben, bevor im Folgenden der Aufbau der Plugin-basierten Anwendungsschicht näher erläutert wird. Abschließend wird näher auf die Integration von Informationen über Komponenten kritischer Infrastrukturen aus Open Data Quellen eingegangen.

5.2.1. Technologieauswahl

In diesem Abschnitt sollen Technologien für die Realisierung des Prototypen, auf Basis der im letzten Kapitel definierten Anforderungen, ausgewählt werden. Es werden Technologien für die Inferenz, für die Persistenz der semantischen Lagedaten, den Datenzugriff und für

die Anwendungsschicht benötigt. In den folgenden Abschnitten sollen für diese vier Bereiche Technologien ausgewählt werden.

Inferenz-Engine

Die Inferenz-Engine dient der Ableitung von Fakten auf Basis der Lagedaten der Wissensbasis. Die Regeln für die Ableitung neuer Fakten spiegeln domänenspezifisches Wissen wieder und müssen zusammen mit den anderen Fakten gespeichert und weitergegeben werden können. Für die semantische Beschreibung von Inferenzregeln existiert bisher ausschließlich die SPARQL Inferencing Notation (SPIN) (vgl. [Knublauch u. a., 2011](#)). Zur Auswertung der Inferenzregeln dient die SPIN Inferenz-Engine, welche im Prototypen eingesetzt werden soll.

Triple Store

Ein Triple Store dient der Persistenz von Fakten, bestehend aus Subjekt, Prädikat und Objekt. Die zweite Aufgabe, die ein Triple Store neben der Persistenz der Fakten leisten muss, ist das Auffinden und Ausgeben von Fakten, die definierten Kriterien entsprechen. Für den zu entwickelnden Prototypen ist es wichtig, dass Fakten auf Basis von spatialen und temporalen Relationen aufgefunden werden können. Die Auswertung der Relationen erfolgt über spatiales beziehungsweise temporales Reasoning. Das schnelle Auffinden von Daten wird über einen Index auf die spatiale beziehungsweise temporale Position ermöglicht.

Der Parliament High-Performance Triple Store ist eine Open Source Implementierung eines Triple Stores mit einem spatialen und temporalen Index (vgl. [Kolas u. a., 2009](#)). Die Verarbeitung der semantischen Daten erfolgt durch das Apache Jena Framework und als Abfragesprache kommt SPARQL zum Einsatz (vgl. [Battle und Kolas, 2012](#)). Dies macht Parliament zur SPIN Inferenz-Engine kompatibel. Aus diesem Grund soll Parliament als Triple Store für den Prototypen eingesetzt werden.

Datenzugriff

Die Entwicklung von Software, in welcher die Daten in semantischer Form gespeichert werden ist sehr viel komplexer als die Entwicklung von Anwendungen mit relationaler Datenspeicherung (vgl. [Quasthoff und Meinel, 2009](#)). Für den Zugriff auf relationale Datenbanken stehen objekt-relationale Mapper (kurz ORM), wie beispielsweise Hibernate, zur Verfügung, die den Datenzugriff stark vereinfachen. Auf Grund konzeptioneller Unterschiede zwischen relationalen Datenbanken und semantischen Netzen können die Best Practises der ORMs nicht

direkt auf den Zugriff der Tripel von semantischen Datenspeichern übertragen werden. Die Entwicklung von Objekt-Triple Mappern (kurz OTM) ist ein Gegenstand aktueller Forschung (vgl. [Quasthoff und Meinel, 2009](#); [Paulheim u. a., 2011](#); [Quasthoff und Meinel, 2011](#)).

RDFReactor (vgl. [Völkel und Sure, 2005](#)) ist ein Framework für die Generierung von Java Proxy Objekten auf Basis von Ontologien. Das Framework wird kontinuierlich weiterentwickelt und findet auch in größeren Projekten, wie Medico (vgl. [Möller und Sintek, 2007](#)), Anwendung. Ein weiterer Vorteil von RDFReactor besteht darin, dass es die Triple Store-Abstraktionsschicht RDF2Go verwendet (vgl. [Voelkel, 2005](#)). Diese Abstraktionsschicht ermöglicht es Implementierungsdetails über die verwendeten semantischen Technologien von der Anwendungsschicht zu trennen und vereinfacht auf diese Weise einen möglichen späteren Austausch. Aus diesem Grund soll RDFReactor im Prototypen als Technologie für den Datenzugriff auf die Fakten der Wissensbasis verwendet werden.

Anwendungsschicht

Die Anwendungsschicht des Prototypen ist für die Visualisierung der Fakten der Wissensbasis verantwortlich und soll Dialoge für die Eingabe neuer Fakten in die Wissensbasis bereitstellen. Die Aufgaben der Anwendungsschicht sind umfangreich und reichen von der Visualisierung der Lagekarte bis zur Darstellung der Abhängigkeiten kritischer Infrastrukturen als Graph. Um die Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Bestandteilen der Anwendungsschicht zu kontrollieren, bietet sich eine modulare, Komponenten-basierte Architektur an.

Für die Modularisierung und Entkopplung der einzelnen Bestandteile der Anwendungsschicht soll die Eclipse Rich Ajax Plattform (kurz: Eclipse RAP) verwendet werden. Eclipse RAP basiert auf der Eclipse Rich Client Plattform (kurz: Eclipse RCP), welche unter der Leitung von Erich Gamma entwickelt wurde und viele der im Buch „Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Languages and Systems“ (vgl. [Gamma u. a., 1994](#)) vorgestellten Design Pattern verwendet. Eclipse RAP erlaubt die Modularisierung einer Anwendung in Plugins und entkoppelt diese durch Standardschnittstellen und Dienste der Plattform. Auf den Aufbau der Eclipse RAP Plattform soll an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden, da dies den Rahmen der Arbeit sprengen würde. Im Abschnitt [Entwurf der Anwendungsschicht](#) wird näher auf die Modularisierung der Bestandteile der Anwendungsschicht eingegangen.

5.2.2. Architekturentwurf

Die technische Architektur des Prototypen ist in vier Schichten aufgebaut. Abbildung [5.9](#) stellt diese grafisch dar.

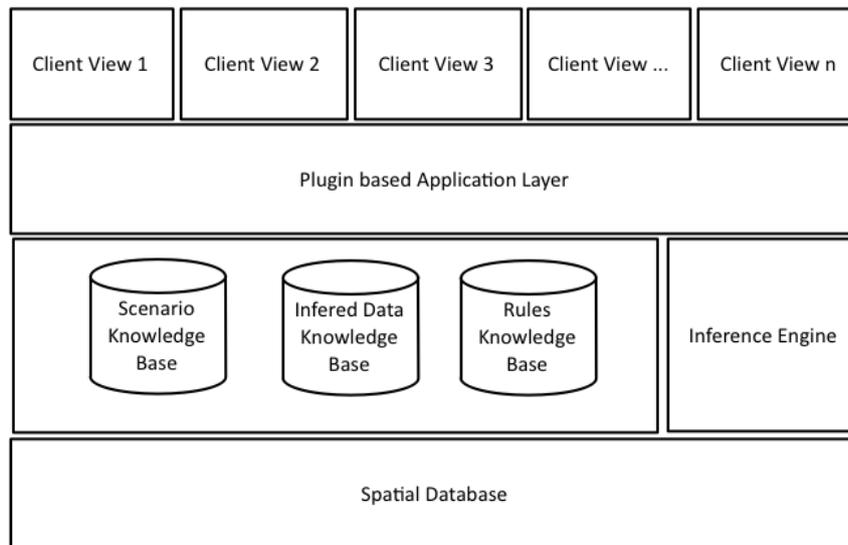


Abbildung 5.9.: Schichtenarchitektur des Prototypen

Die unterste Schicht ist die Persistenz-Schicht. Diese Schicht ermöglicht die Speicherung der Fakten der Wissensbasis in einem spatialen Triple Store. Der Triple Store besitzt einen Index auf Fakten, die eine geografische Position oder eine zeitliche Ausdehnung beschreiben. Auf diese Weise ist es möglich, Abfragen über die räumlichen und zeitlichen Beziehungen zwischen Instanzen der Wissensbasis ohne viel Rechenaufwand zu beantworten.

Die Fakten des Triple Stores sind in mehreren Graphen organisiert. Pro Szenario existieren drei Graphen: Ein Szenario-Graph, ein Regel-Graph und ein Inferenz-Graph, welcher die abgeleiteten Fakten enthält. Der Szenario-Graph enthält alle Fakten über die aktuelle Lage und spiegelt das Modell der Lagekarte wieder. Er enthält Informationen über kritische Infrastrukturen und eingetretene Schäden.

Der Regel-Graph enthält eine semantische Beschreibung der Inferenzregeln, welche zur Ableitung neuer Fakten, auf Basis des Wissens im Szenario-Graph verwendet werden sollen. Das abgeleitete Wissen wird nicht direkt dem Szenario-Graphen hinzugefügt, sondern zunächst im Inferenz-Graphen gespeichert. In Krisenstäben ist es wichtig, die Fakten der Lagekarte von Schlussfolgerungen zu trennen. Auf diese Weise können die abgeleiteten Fakten zunächst validiert werden, bevor sie dem Szenario-Graphen hinzugefügt werden. Die Ableitung neuer Fakten erfolgt über eine Inferenz-Engine, welche die semantische Beschreibung der Inferenzregeln einliebt, diese in eine ausführbare Form umwandelt und dann auf die Fakten der Wissensbasis anwendet.

Die Anwendungsschicht ist für die Visualisierung der Fakten zuständig und definiert die In-

teraktionsmöglichkeiten der Anwender mit den Fakten der Wissensbasis. Die Anwendungsschicht ist Plugin-basiert und ermöglicht es verschiedene Perspektiven auf die Daten zu definieren. Diese ergeben sich aus den Plugins, die für die jeweiligen Perspektiven zum Einsatz kommen. Die Verwendung einer Plugin-Architektur ermöglicht es außerdem das System modular aufzubauen und erleichtert somit seine Erweiterung.

Die Darstellung der Benutzeroberfläche erfolgt im Browser. Dies hat den Vorteil, dass keine Software installiert werden muss und diese zentral gepflegt werden kann. Jede Funktion im Krisenstab kann eine vordefinierte Perspektive für die Arbeit auf den Daten wählen, welche für ihre Funktion am geeignetsten ist, oder sich selber eine Perspektive aus den vorhandenen Views zusammenstellen.

5.2.3. Entwurf der Anwendungsschicht

In diesem Abschnitt soll der Plugin-basierte Aufbau der Anwendungsschicht erläutert werden. Abbildung 5.10 stellt die Plugins der Anwendungsschicht und die Abhängigkeiten zwischen ihnen grafisch dar. Der Graph visualisiert keine Abhängigkeiten zu den Plugins der Eclipse-Umgebung sowie anderen Drittanbieterbibliotheken, abgesehen von Jena, RDF2Go und RDFReactor. Im Folgenden soll auf die einzelnen Plugins der Anwendungsschicht näher eingegangen werden.

RDF2Go

RDF2Go ist eine Open Source Abstraktionsschicht für Triple Stores. Dieses Plugin definiert eine Schnittstelle, gegen welche Entwickler programmieren können und erlaubt es den verwendeten Triple Store später auszutauschen. RDF2Go enthält Implementierungen für Adapter auf Jena und Sesame.

RDFReactor

RDFReactor ist ein Framework für die Generierung von Java-Proxy-Objekten auf Basis von RDF-Schemata. Die Verwendung von Java-Proxy-Objekten ermöglicht den objektorientierten Zugriff auf die Fakten eines Triple Stores und reduziert auf diese Weise den Bedarf für die Formulierung von SPARQL-Abfragen innerhalb der Anwendung. Die generierten Proxy-Objekte verwenden die RDF2Go Abstraktionsschicht für den Zugriff auf die Fakten des Triple Stores und sind aus diesem Grund unabhängig von einer konkreten Implementierung, wie Jena oder Sesame.

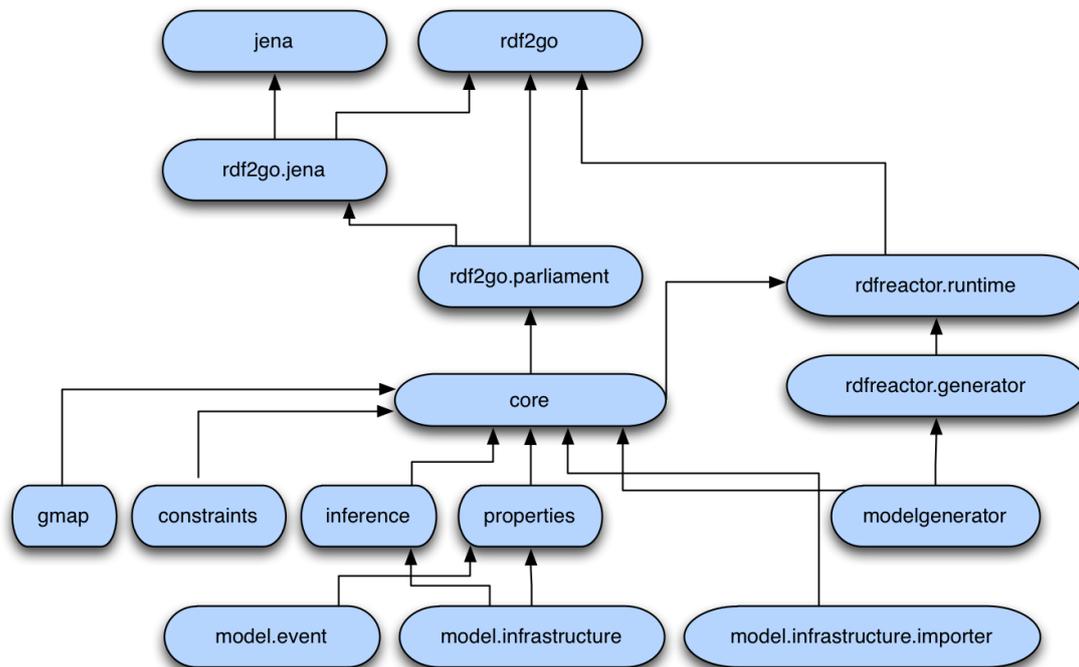


Abbildung 5.10.: Plugins der Anwendungsschicht

RDF2Go Parliament-Adapter

RDF2Go enthält selber keine Implementierung für einen Adapter zum Zugriff auf den Parliament Triple Store. Aus diesem Grund stellt das Plugin `rdf2go.parliament` eine Adapter-Implementierung bereit. Die Klasse `ParliamentRemoteModel` übersetzt die Zugriffe auf das lokale RDF2Go-Modell auf entfernte Aufrufe auf dem Triple Store. Zusätzlich enthält das Plugin die Schnittstellendefinitionen `IIndexableModel` für die Aktivierung der Indizierung im Triple Store sowie die Schnittstelle `ITrackableModel`, welches die Registrierung von `PropertyChangeListener` ermöglicht. Die Registrierung von `PropertyChangeListener` ist notwendig, damit die Benutzeroberfläche über Änderungen am Modell informiert wird und sich aktualisieren kann.

Das Core-Plugin

Das Core-Plugin ist der Einstiegspunkt des Informationssystems und stellt Standardschnittstellen sowie Funktionalität bereit, die von allen anderen Plugins benötigt werden. Im folgenden sollen die Aufgaben des Core-Plugins näher beschrieben werden.

Definition von Perspektiven: Perspektiven definieren aufgabenzentrierte Arbeitsumgebungen. Sie bestehen aus verschiedenen Sichten, welche für Erfüllung der entsprechenden Aufgabe benötigt werden und bestimmen ihre Anordnung auf dem Bildschirm. Da das Core-Plugin selber keine aufgabenspezifischen Sichten enthält, definiert es Platzhalter für Funktionen, welche durch andere Plugins ausgefüllt werden können. Das Core-Plugin definiert Perspektiven für die Krisenstabsfunktionen Lage (S2) und Einsatz (S3) (siehe [Aufbau von Krisenstäben](#)).

Definition von allgemeinen Befehlen: Befehle beschreiben Aktionen, deren Ausführung vom aktuellen Arbeitskontext abhängig ist. Die Verwendung von Befehlen stellt in Eclipse RAP einen Mechanismus dar, um Plugins von einander zu entkoppeln. Die Bearbeitung von Befehlen erfolgt über Handler. Die Eclipse Plattform bestimmt bei der Ausführung eines Befehls, welcher Handler, in Abhängigkeit des aktuellen Arbeitskontextes, am besten für die Bearbeitung der Aufgabe geeignet ist und führt diesen aus. Das Core-Plugin definiert unter anderem Befehle für das Laden eines Szenarios oder von Inferenzregeln.

Definition einer Standard-Kartenschnittstelle: Das Core-Plugin definiert eine implementierungsunabhängige Kartenschnittstelle für das Informationssystem. Diese Schnittstelle könnte auch in ein separates Plugin ausgelagert werden, da jedoch die meisten Plugins auf die Kartenfunktionalität zugreifen müssen, wurde sie im Core-Plugin als Standardschnittstelle definiert. Neben Schnittstellen für die Elemente einer Karte, enthält das Core-Plugin auch Befehle, um diese auf einer Karte zu platzieren, von ihr zu entfernen, oder auszublenden. Die Handler für diese Befehle werden von den Kartenimplementierungen realisiert. Die Definition der Kartenschnittstelle sowie der Befehle befindet sich in der technischen Dokumentation des Prototypen.

Definition einer Selektion von Ressourcen: Selektionen sind ein weiterer Mechanismus in Eclipse RAP, um Plugins von einander zu entkoppeln. Jede Sicht kann sich in der Eclipse Plattform registrieren, um über Änderungen der Benutzerselektion informiert zu werden, oder kann selber die Plattform über eine Benutzerselektion auf der eigenen Sicht informieren. Das Core-Plugin definiert eine Verfeinerung der allgemeinen Selektionsschnittstelle für Selektionen von semantischen Individuen, auch Ressourcen genannt.

Verwaltung anwendungsweiter Einstellungen: Eine weitere Aufgabe des Core-Plugins besteht in der Verwaltung anwendungsweiter Einstellungen. Für diese Einstellungen bietet das Plugin einen Dialog an. Über diesen kann beispielsweise der Namensraum für neue Fakten, welche zum Szenario hinzugefügt werden sollen, konfiguriert werden.

Definition von Erweiterungspunkten: Die Funktionalität von Plugins kann in Eclipse RAP über Erweiterungspunkte ergänzt werden. Jedes Plugin, das einen Erweiterungspunkt anbietet, definiert für diesen eine Schnittstelle, über welche andere Plugins Funktionalität hinzufügen können. Andere Plugins können Implementierungen dieser Schnittstelle zur Verfügung stellen und sie in der Plattform registrieren. Die Plattform übernimmt die Instanziierung der Implementierungen, damit diese vom Anbieter des Erweiterungspunktes verwendet werden können. Neben Implementierungen von Schnittstellen, können über Erweiterungspunkte auch Dateien wie Bilder, oder Ontologien registriert werden.

Das Core-Plugin definiert Erweiterungspunkte, über welche von Plugins Ontologien oder Constraints registriert werden können. Die Ontologien und Constraints werden bei der Erstellung eines neuen Szenarios in die Szenario-Wissensbasis übertragen. Außerdem dient der Erweiterungspunkt für Ontologien der Generierung von Proxy-Objekten, für den Zugriff auf die Wissensbasis. Dieser Prozess wird im nächsten Abschnitt beschrieben.

Das Model-Generator-Plugin

Der Zugriff auf die Fakten der Wissensbasis erfolgt im Prototypen über Proxy-Objekte. Jedes Plugin registriert über einen Erweiterungspunkt, welche Ontologien benötigt werden. Das Model-Generator-Plugin liebt diesen Erweiterungspunkt aus und generiert jedem Plugin Proxy-Objekte für den Zugriff auf die Konzepte der registrierten Ontologien. Die Generierung der Proxy-Objekte ist ein aufwändiger Prozess, da Abhängigkeiten zwischen den Ontologien aufgelöst werden müssen und allgemeine Ontologien eventuell aus dem Internet nachgeladen werden. Der Prozess der Generierung von Proxy-Objekten ist in der technischen Dokumentation des Prototypen näher erläutert.

Das Google Maps-Plugin

Das Plugin *gmap* stellt eine Google Maps Implementierung der Kartenschnittstelle zur Verfügung und Realisiert die Handler für die Operationen auf der Karte. Abbildung 5.11 zeigt den Prozess für das Hinzufügen eines Polygons zur Karte.

Ist die Google Maps-Karte während der Absendung des Befehls aktiv, übernimmt der `AddPolygonForIdHandler` der Google Maps-Implementierung die Bearbeitung des Befehls. Der Handler greift über das Proxy-Objekt des Polygon-Konzeptes der GeoRSS-Ontologie auf die semantische Beschreibung des Polygons zu und erzeugt auf Basis der gelesenen Daten ein `PolygonOverlay`. Das Overlay wird der `MapView` hinzugefügt. Diese fragt alle, am Erweiterungspunkt für `MapViewProvider` registrierten, Implementierungen, ob diese eine View für das hinzuzufügende Polygon erzeugen können. Der erste

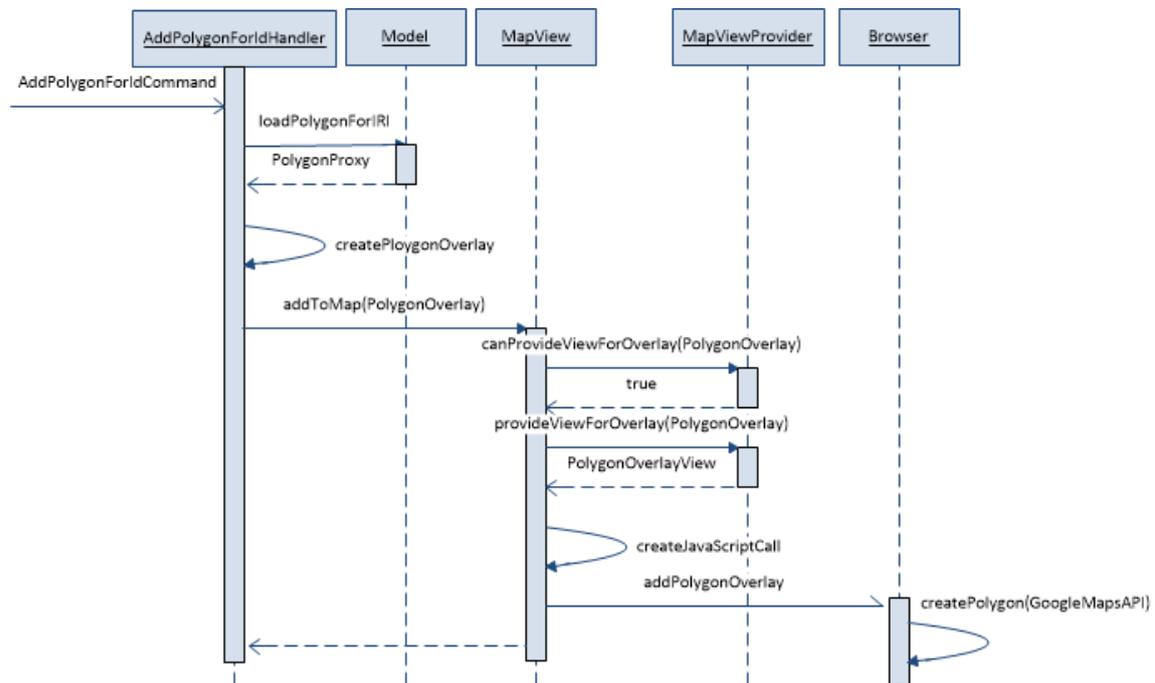


Abbildung 5.11.: Sequenzdiagramm für das Hinzufügen eines Polygons zur Karte

Provider, welcher eine View erzeugen kann wird mit der Erzeugung einer Darstellung beauftragt. Im Anschluss übersetzt die `MapView` die erzeugte Darstellung in einen JavaScript-Aufruf an den Browser der `MapView`. Das JavaScript, welches im Browser geladen ist sorgt dann für den Aufruf in der Google Maps JavaScript API.

Das Properties-Plugin

Die Anforderungen *FA-Lb1* bis *FA-Lb3* sowie *FA-Lb6* bis *FA-Lb8* erfordern das Darstellen von Eigenschaften von Schadensereignissen und Infrastrukturkomponenten. Das Properties-Plugin stellt eine ontologieunabhängige Schnittstelle für die Darstellung von Eigenschaften zur aktuellen Benutzer-Selektion zur Verfügung. Vergleichbar mit dem `MapViewProvider` Erweiterungspunkt der Kartenschnittstelle, bietet das Properties-Plugin den Erweiterungspunkt `PropertiesViewProvider` an. Stellt das Properties Plugin eine Änderung der Benutzer-Selektion fest, fragt es jeden `PropertiesViewProvider`, ob dieser eine Sicht für die Selektion erzeugen kann. Abbildung 5.12 stellt diesen Prozess grafisch dar.

Die Klasse `PropertiesView` des Properties-Plugin erzeugt für jede verfügbare View einen Tab, um zwischen den einzelnen Sichten für eine Auswahl zu wechseln.

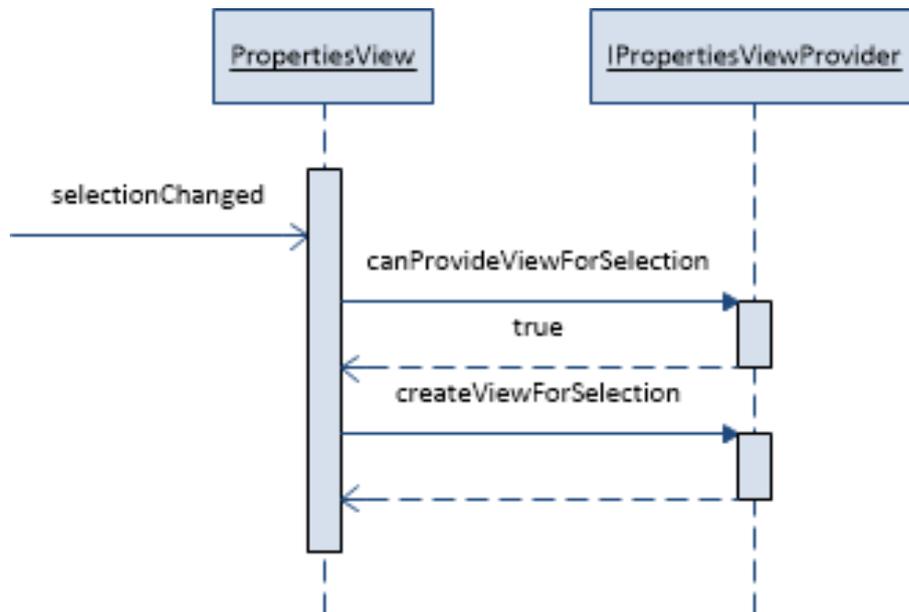


Abbildung 5.12.: Sequenzdiagramm für die Darstellung von Eigenschaften zur aktuellen Benutzer-Selektion

Das Inference- und Constraint-Plugin

Ähnlich wie das Properties-Plugin stellen das Inference- und das Constraint-Plugin Funktionalität unabhängig von Domänen-Ontologien zur Verfügung. Diese Funktionen erlauben beispielsweise das Anstoßen der Abhängigkeitsanalyse oder die Überprüfung der Konsistenzbedingungen.

Die Visualisierung der Verletzungen von Konsistenzbedingungen kann unabhängig von einer Domänen-Ontologie erfolgen. Für jede aufgedeckte Verletzung wird dem entsprechenden Modell, eine semantische Beschreibung des Problems hinzugefügt. Das Constraint-Plugin liefert nach Abschluss der Überprüfung diese Beschreibungen aus und stellt sie in einer Tabelle dar. Die Visualisierung der Ergebnisse der Abhängigkeitsinferenz ist nicht generisch und erfolgt aus diesem Grund durch das Infrastructure-Plugin.

Das Events-Plugin

Alle Plugins, die über Proxy-Objekte auf die Domänen-Ontologien zugreifen sind in Abbildung 5.10 mit dem Präfix *model* gekennzeichnet. Bei Änderungen an der Domänen-Ontologie müssen nur die entsprechenden domänenspezifischen Plugins angepasst werden.

Das Events-Plugin kapselt das Wissen über die Events-Ontologie, zur Beschreibung von Schadensereignissen. Es stellt einen Editor für das Hinzufügen neuer Schadensereignisse, eine Tabellenübersicht über alle Schadensereignisse des Szenarios sowie einen `PropertiesViewProvider` zur Anzeige von Eigenschaften über Schadensereignisse zur Verfügung. In Anhang B finden sich Abbildungen, die die Oberfläche des Informationssystems zeigen.

Des Weiteren implementiert das Plugin einen Modell-Listener, welcher Änderungen am Szenario verfolgt und dafür sorgt, dass neue Schadensereignisse, die zur Wissensbasis hinzugefügt werden auch auf der Karte dargestellt werden. Schadensereignisse, werden über die Befehle der Kartenschnittstelle zur Karte hinzugefügt. Durch die Registrierung eines `MapViewProviders` kann das Plugin Einfluss auf die Kartendarstellung von Schadensereignissen nehmen.

Das Infrastructure-Plugin

Das Infrastructure-Plugin kapselt das Wissen über die Infrastructure-Ontologie, zur Beschreibung von kritischen Infrastrukturen. Es realisiert die gleichen Funktionen wie das Events-Plugin, jedoch für kritische Infrastrukturen. Zusätzlich bietet das Plugin eine GANTT-Chart Visualisierung für die Betriebszustände der einzelnen Infrastrukturkomponenten und Sichten für die Graphen-basierte Darstellung der Abhängigkeiten zwischen kritischen Infrastrukturen und für die Generierung von Erklärungen (siehe *FA-Lb5*).

Zur Generierung der Abhängigkeitsgraphen für die ermittelten Gefahren der Betriebszustände werden Subjekt und Objekt eines Tripels auf die Knoten des Graphen abgebildet. Das Prädikat wird als eine gerichtete Verbindung von Subjekt zu Objekt visualisiert, um ein propositionales semantisches Netz zu erzeugen. Beim Subjekt handelt es sich entweder um ein Schadensereignis oder eine ermittelte Gefahr, das Objekt ist die Gefahr, die durch das Subjekt bedingt wird. Beim Prädikat handelt es sich um die `causesDirect` Beziehung zwischen Subjekt und Objekt. Da für jeden Betriebszustand jeder Infrastrukturkomponente eine Gefahr abgeleitet wird, kann die Anzahl an Knoten des Graphen bei einer großen Anzahl an Infrastrukturkomponenten sehr hoch sein. Dies verringert die Übersichtlichkeit des Graphen. Um dieses Problem zu lösen bietet der Prototyp eine Aggregierungsfunktion an, mit der mehrfache Gefahren zusammengefasst werden können. Führt beispielsweise der Ausfall eines Kraftwerks zum Ausfall von 20 Umspannwerken, würde der Kraftwerksausfall 20 Gefahren für Stromausfälle in den jeweiligen Versorgungsgebieten der Umspannwerke bedingen. Bei der Aggregation werden diese 20 Gefahren zu einer zusammengefasst und verbessern somit die Übersichtlichkeit des Graphen.

Die Erklärungen für die Inferenzen basieren auf den SPARQL-Construct-Regeln, welche mit der Unifikation von Variablen arbeiten. Die Struktur des semantischen Netzes wird durch die

semantische Beschreibung der zugrundeliegenden Regel bestimmt, die Knotenbeschriftungen ergeben sich aus den Variablenunifikationen. Für jede Regel werden die unifizierten Variablen mit Hilfe der Explanations-Ontologie im Inferenz-Graphen persistiert. Soll eine Erklärung für ein Tripel angezeigt werden, wird überprüft, ob eine Erklärung für das Tripel existiert. Ist eine Erklärung vorhanden, wird die Struktur der Regel aus dem Regel-Graphen ermittelt. Als Knotenbeschriftungen werden die Variablenunifikationen der Erklärung verwendet. Die Realisierung der Abhängigkeits- und Erklärungsgraphen wird im Abschnitt [Generierung des Abhängigkeitsgraphen](#) beschrieben. Beispiele für die Graphen enthält das Kapitel [Ergebnisse](#).

Das Infrastructure-Importer-Plugin

Das Infrastructure-Importer-Plugin enthält die Funktionalität für den Import von Infrastrukturkomponenten aus dem Internet. Im nächsten Abschnitt wird eine implementierungsunabhängige Schnittstelle für den Import von Infrastrukturkomponenten entworfen. Auf Implementierungen dieser Schnittstelle für konkrete Datenquellen wird im Abschnitt [Anbindung von Open Data Quellen](#) eingegangen.

5.2.4. Entwurf der Informationsintegration

Im Abschnitt [Herausforderungen für einen Krisenstab](#) wurde Zeit als ein kritischer Faktor bei der Arbeit von Krisenstäben identifiziert. Die Anforderungen *TA-11* bis *TA-15* adressieren den Import von Informationen über die Komponenten kritischer Infrastrukturen aus Open Data Quellen. Diese Funktion soll es dem Krisenstab ermöglichen, die benötigten Informationen über kritische Infrastrukturen online abzurufen, was den Modellierungsaufwand erheblich reduziert und damit die benötigte Zeit für die Lagebeurteilung verkürzt.

Im Abschnitt [5.1.2](#) wurde das semantische Datenmodell für die Beschreibung von Abhängigkeiten zwischen kritischen Infrastrukturen erläutert. Durch die Trennung von Infrastruktur und Infrastruktur-Konzept werden die benötigten Daten pro Infrastruktur reduziert, indem infrastrukturübergreifende Informationen im Konzept gehalten werden. Für eine Infrastrukturkomponente werden auf diese Weise nur noch die folgenden Informationen benötigt:

- An welchem Ort befindet sich die Infrastrukturkomponente?
- Durch welche Infrastruktur-Konzepte ist ihre Funktion charakterisiert?
- In welchem Gebiet wird der, von der kritischen Infrastrukturkomponente erzeugte, Output zur Verfügung gestellt?

In diesem Abschnitt soll ein Importverfahren entworfen werden, durch welches der Prototyp den Krisenstab bei der Beschaffung dieser Informationen unterstützen kann.

Phasen des Datenimports

Unabhängig von einer konkreten Open Data Quelle lässt sich der Prozess des Imports von Daten in den Prototypen in drei Phasen unterteilen.

1. In der ersten Phase werden alle benötigten Informationen für eine Anfrage am Open Data Webservice gesammelt und der Request wird gestellt. Für eine Anfrage werden Informationen über den geografischen Bereich der Datenabfrage, sowie Informationen über die Art der Infrastruktur benötigt.
2. Der Webservice beantwortet die Anfrage und gibt die Ergebnisse zurück. Die Ergebnisse müssen in der zweiten Phase vom Ergebnis-Format in das semantische Datenmodell konvertiert werden. Existieren im Ergebnis-Format Informationen, welche im semantischen Datenmodell nicht benötigt werden, können diese verworfen werden. Werden für die semantische Beschreibung Informationen benötigt, welche im Ergebnis nicht enthalten sind, müssen diese vom Importeur eingegeben, generisch erzeugt oder zunächst offen gelassen werden.

Der Bereich in welchem die Outputs einer Infrastruktur zur Verfügung gestellt werden, sind in den Open Data Quellen nicht enthalten. Diese Information kann entweder zunächst offen gelassen, oder vom Importeur im Rahmen des Importprozesses eingegeben werden. Sollte der Name einer Infrastrukturkomponente nicht verfügbar sein, kann dieser automatisch generiert werden.

3. Ist der Konvertierungsprozess beendet, können die Informationen in der dritten Phase in den Szenario-Graphen importiert werden.

Entwurf einer Importer-Schnittstelle

Der Importprozess soll durch eine Importer-Klasse pro Open Data Quelle realisiert werden, welche den Importprozess steuert. Jede Importer-Klasse realisiert eine Importer-Schnittstelle, über welche Instanzen der Importer einheitlich konfiguriert werden können. Die Importer-Schnittstelle kann als Erweiterungspunkt für Registrierung beliebiger Implementierungen dienen. Listing 5.1 zeigt die Schnittstelle, um Importer Instanzen zu konfigurieren und den Import zu initialisieren.

```
1 public interface IImporter {
2     void setQuery(URL query);
3     void setMapping(URL mapping);
4     void setParameter(String name, Object value);
5     int importToModel(Model model);
6 }
```

Listing 5.1: Definition der Importer-Schnittstelle

Über die Methode `setQuery` kann eine URL übergeben werden, über welche die Anfrage bei der Open Data Quelle gestellt werden kann. Die URL enthält Angaben über die Art der zu importierenden Infrastruktur und ist abhängig von der konkreten Implementierung. Über die Methode `setMapping` ist es möglich eine XSLT-Datei anzugeben, über welche die Konvertierung des Anfrageergebnisses in das benötigte Datenformat gesteuert werden kann. Parameter die während des Konvertierungsprozesses benötigt werden können über die Methode `setParameter` an den Importer übergeben werden. Der Import wird durch den Aufruf der Methode `importToModel` angestoßen. Als Parameter wird das Modell übergeben, in welches die neuen Infrastrukturkomponenten importiert werden sollen. Die Methode gibt die Anzahl der importierten Infrastrukturkomponenten zurück.

6. Realisierung

In diesem Kapitel soll auf ausgewählte Aspekte der Realisierung des Prototypen eingegangen werden. Zunächst wird im ersten Abschnitt des Kapitels erläutert, wie die prädikatenlogischen Inferenzregeln des Abschnitts [Spatio-temporale Inferenz der Betriebszustände](#) in SPIN formuliert werden können. Im zweiten Abschnitt wird auf einige Hürden bei der Implementierung der geospatialen und temporalen Inferenz mit Parliament und SPIN eingegangen. Im dritten Abschnitt werden zwei Implementierungen für den Import von Infrastrukturkomponenten aus dem Internet vorgestellt. Abschließend wird im vierten Abschnitt die Generierung der Abhängigkeits- und Erklärungsgraphen beschrieben.

6.1. Abbildung der prädikatenlogischen Inferenzregeln auf SPIN

Die SPARQL Inferencing Notation (SPIN) erlaubt die semantische Beschreibung von Inferenzregeln, in der Form von SPARQL (vgl. [SPARQL, 2013](#)). Da in SPARQL keine prädikatenlogischen Ausdrücke existieren, soll in diesem Abschnitt beschrieben werden, wie die Inferenzregeln aus Abschnitt [5.1.3](#) in SPARQL formuliert werden können. Die Inferenzregeln enthalten Prädikate, Junktoren und Quantoren. Im Folgenden soll die Abbildung dieser Elemente auf SPARQL behandelt werden.

6.1.1. Einfache und abgeleitete Prädikate

Die einfachen Prädikate der prädikatenlogik repräsentieren die Fakten der Wissensbasis. Das Prädikat *ProperInterval*(x), gibt Aufschluss darüber, ob x eine Instanz des Konzeptes *ProperInterval* ist. In SPARQL kann dies durch `?x a time:ProperInterval` oder `?x rdf:type time:ProperInterval` ausgedrückt werden.

Das über das Prädikat *providesOutput*(*outputDelivery*, *output*) lässt sich prüfen, ob ein Fakt in der Wissensbasis existiert, der besagt, dass *outputDelivery* *output* zur Verfügung stellt. SPARQL verwendet für die Beschreibung der Relation zwischen Individuen keine Prefix-Notation, wie die Prädikatenlogik, sondern eine Infix-Notation. In SPARQL kann

das Beispiel durch `?outputDelivery infra:providesOutput ?output` ausgedrückt werden.

Abgeleitete Prädikate können in SPIN durch Funktionen mit boolischem Rückgabewert abgebildet werden. Eine Funktion ist eine SPARQL-Abfrage, die über ihren Bezeichner innerhalb einer anderen Abfrage ausgewertet werden kann.

6.1.2. Junktoren

In diesem Abschnitt soll die Abbildung der prädikatenlogischen Junktoren Konjunktion, Disjunktion, Negation sowie Implikation auf SPARQL erläutert werden.

Konjunktion

In SPARQL existieren keine Junktoren, um Ausdrücke mit einander zu verbinden, sondern sie werden einfach aneinander gereiht. In SPARQL wird implizit davon ausgegangen, dass alle Aussagen in einer Abfrage wahr sind. Die Konjunktion ist demnach der Default-Fall.

Disjunktion

Disjunktionen können in SPARQL über optionale Ausdrücke, oder die Vereinigung der Ergebnismengen von Unterabfragen erzeugt werden. Formel 5.3 aus Abschnitt 5.1.3 kann in SPARQL wie folgt ausgedrückt werden.

```
1 SELECT ?interval
2 WHERE {
3     ?interval a time:ProperInterval .
4     {
5         ?arg1 time:intervalEquals ?interval .
6     }
7     UNION {
8         ?arg1 time:intervalDuring ?interval .
9     }
10    UNION {
11        ?arg1 time:intervalFinishes ?interval .
12    }
13    UNION {
14        ?arg1 time:intervalStarts ?interval .
15    } .
16 }
```

Listing 6.1: Disjunktion in SPARQL

Negation

Die Negation kann in SPARQL durch das Filtern der Ergebnismenge abgebildet werden. Listing 6.2 zeigt ein Beispiel für eine Negation in SPARQL.

```

1 SELECT ?output
2 WHERE {
3   ?outputDelivery a infra:output-delivery .
4   { {?output a dol:amount-of-matter . } UNION {?output a dol:process . } . } .
5   FILTER NOT EXISTS {
6     ?outputDelivery infra:providesOutput ?output .
7   }.
8 }

```

Listing 6.2: Negation in SPARQL

Zunächst werden an die Variable `outputDelivery` alle Individuen des Konzeptes `output-delivery` gebunden. Ein Output kann entweder vom Konzept `dol:amount-of-matter` oder `dol:process` sein. Aus diesem Grund werden an die Variable `output` alle Instanzen dieser beiden Konzepte gebunden. Anschließend wird die Ergebnismenge, durch das Filter-Statement, um die Ergebnisse reduziert, welche eine `outputDelivery` mit einem `output`, über das Prädikat `infra:providesOutput`, in Beziehung setzen. Ergebnis sind alle Outputs, welche von keiner Output-Auslieferung zur Verfügung gestellt werden.

Implikation

Die Implikation kann durch die Kombination von Negation und Disjunktion formuliert werden, da gilt $P \rightarrow Q \triangleq \neg P \vee Q$. Listing 6.3 zeigt die Abbildung eines Ausschnitts von Formel 5.10 aus Abschnitt 5.1.3.

```

1 OPTIONAL {
2   ?definition infra:forEnvironmentalState ?envState .
3 } .
4 FILTER ((!bound(?envState)) || rules:existsEnvStateForLocationAtTime(?envState
, ?location, ?interval)) .

```

Listing 6.3: Implikation in SPARQL

Zunächst wird überprüft, ob für eine Prozess-Definition `definition` ein Umweltzustand `envState` angegeben wurde. Ist dies der Fall, kann ein Individuum an die Variable `envState` gebunden werden, ansonsten bleibt sie ungebunden.

Im zweiten Teil werden dann alle Ergebnisse aus der Ergebnismenge entfernt, für welche die Implikation nicht gültig ist. Aussage P lautet für diesen Fall „Die Prozess-Definition enthält

eine Angabe über einen Umweltzustand“. Aussage Q lautet „Der Umweltzustand existiert an der Position der Infrastrukturkomponente und innerhalb des gegebenen Zeitintervalls“.

6.1.3. Quantoren

Der Existenzquantor ist in SPARQL implizit definiert. In SPARQL Abfragen werden Variablen mit allen Individuen unifiziert, die auf das definierte Pattern passen. Kann eine Variable, außerhalb eines optionalen Graph-Patterns, nicht unifiziert werden, ist das Ergebnis der gesamten Abfrage die leere Menge.

In SPARQL lassen sich Allquantoren nur sehr schwierig abbilden, da Aussagen über Mengen von Fakten der Wissensbasis nur über Aggregat-Funktionen möglich sind. Die Abbildung des Allquantors in SPARQL erfolgt mit Hilfe der COUNT-Funktion. Fügt man einer Ergebnismenge weitere Bedingungen hinzu und sind diese Bedingungen für alle Elemente der Menge erfüllt, so darf sich ihre Mächtigkeit nicht verändern. Listing 6.4 demonstriert die Abbildung der Formel 5.7 aus Abschnitt 5.1.3.

```

1 SELECT ?result
2 WHERE {
3   {
4     SELECT ((COUNT(?state)) AS ?x)
5     WHERE {
6       ?arg1 (dol:part)* ?state .
7       ?state a core:atomic-environmental-state .
8     } } .
9   {
10    SELECT ((COUNT(?state)) AS ?y)
11    WHERE {
12      {
13        SELECT DISTINCT ?state
14        WHERE {
15          ?arg3 kprop:completelyPresentInterval ?interval .
16          ?interval tem:temporal-location-of ?problem .
17          ?problem a events:Problem .
18          ?problem spa:p-spatial-location ?location .
19          ?arg2 kprop:existsAtLocation ?location .
20          ?problem (dol:part)* ?state .
21          ?state a core:atomic-environmental-state .
22          ?arg1 (dol:part)* ?state .
23        }
24      } . } } .
25 BIND ((?x = ?y) AS ?result) .
26 }

```

Listing 6.4: Allquantifizierungen in SPARQL

Zunächst wird in der ersten Unterabfrage bestimmt, aus wie vielen Teilzuständen der gegebene Umweltzustand besteht. Jeder dieser Teilzustände muss an der gegebenen Position und dem gegebenen Zeitintervall existieren.

In der zweiten Unterabfrage werden alle Umweltzustände an der gegebenen Position und für das gegebene Zeitintervall bestimmt. In Zeile 20 sind an die Variable `state` alle Umweltzustände gebunden, welche die Bedingungen an Zeit und Raum erfüllen. In Zeile 21 und 22 sind die Bedingungen der ersten Unterabfrage wiederzufinden. Diese schränken die Ergebnismenge `state` auf die Umweltzustände ein, die auch durch die erste Unterabfrage ermittelt wurden. Existieren alle Umweltzustände an der Position während des Zeitintervalls, dann entspricht die Mächtigkeit der ersten Ergebnismenge (x) der Mächtigkeit der Zweiten (y). Diese Bedingung wird in Zeile 25 überprüft und ist das Ergebnis der gesamten Abfrage.

6.2. Realisierung der spatialen und temporalen Inferenz mit Parliament und SPIN

In diesem Abschnitt soll auf Herausforderungen während der Realisierung der spatialen und temporalen Inferenz mit Parliament und SPIN eingegangen werden. Outputs von Infrastrukturen sollen in einem Umkreis um eine Infrastrukturkomponente zur Verfügung gestellt werden können. Der Parliament Tripel Store besitzt jedoch keinen spatialen Index für Kreise. Im ersten Abschnitt soll erläutert werden, wie Kreise dennoch im Index abgelegt werden können.

Im Abschnitt [Der Ontologie Stack](#) wurden die verwendeten Ontologien vorgestellt. Zur temporalen Inferenz wird die OWL-Time Ontologie eingesetzt. Parliament weicht bei der Realisierung der temporalen Inferenz von der semantischen Ausrichtung der Ontologiedefinition ab. Im zweiten Abschnitt soll erläutert werden, wie dieses Problem für den Prototypen gelöst werden kann. Abschließend wird im dritten Abschnitt die Integration der SPIN Inferenz-Engine in Parliament erläutert.

6.2.1. Spatialer Index für Kreise

Die Anforderung *FA-K7* besagt, dass Erzeugnisse und Dienstleistungen von Infrastrukturkomponenten in Versorgungsbereichen zur Verfügung gestellt werden. Nach Anforderung *FA-K8* sollen Versorgungsbereiche auf zwei Arten beschrieben werden können: Als ein Polygon oder als Kreis mit der Infrastrukturkomponente als Mittelpunkt und einer Reichweite, die dem Radius entspricht.

Der Parliament Tripel Store kann Punkte, Linien und Polygone in seinem spatialen Index speichern. Für die Beschreibung von Reichweiten werden jedoch zusätzlich Kreise benötigt. Aus diesem Grund muss der spatiale Index des Tripel Stores erweitert werden. Um möglichst wenig Änderungen am Indizierungsmechanismus vornehmen zu müssen, wird im Prototyp ein Kreis durch ein Polygon approximiert. Abbildung 6.1 zeigt den Ablauf für das Hinzufügen eines Kreises zum spatialen Index.

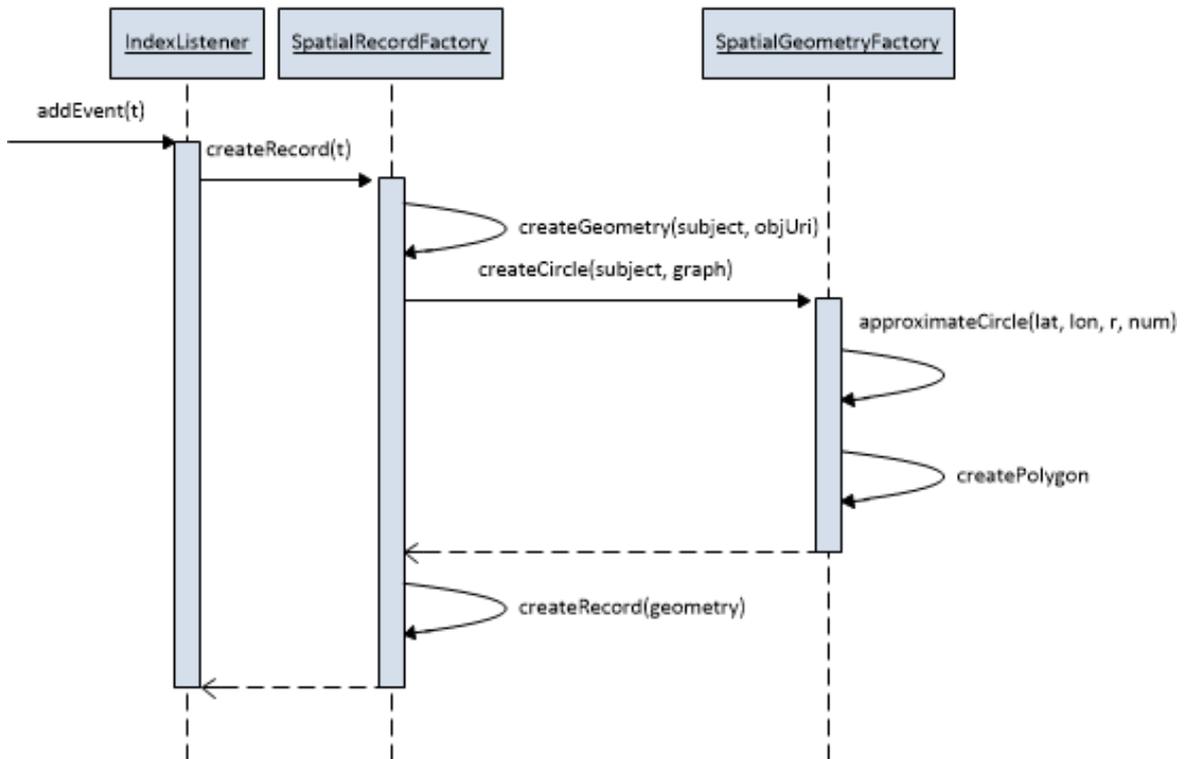


Abbildung 6.1.: Sequenzdiagramm für das Hinzufügen eines Kreises zum spatialen Index

Jedes Tripel, das zu Parliament hinzugefügt wird löst ein Event im `IndexListener` aus. Diese Klasse versucht für jedes hinzugefügte Tripel einen Eintrag im spatialen Index zu erzeugen, indem sie die Methode `createRecord` für das Tripel aufruft. Die Klasse `SpatialRecordFactory` überprüft zunächst in den Methode `createGeometry`, ob das Tripel zu einem Geometrie-Konzept gehört und ob das Konzept vom Index unterstützt wird. In dieser Methode werden die unterstützten Konzepte um das Konzept des Kreises erweitert.

Soll ein Kreis zum Index hinzugefügt werden, ruft die `SpatialRecordFactory` die Methode `createCircle` der `SpatialGeometryFactory` auf. Diese Methode ließt die Beschreibung des Kreises aus dem Tripel Store und approximiert ihn durch ein Polygon. Anschließend erzeugt die `SpatialGeometryFactory` eine Beschreibung für ein Polygon und gibt diesen an die `SpatialRecordFactory` zurück. Diese erzeugt für das Polygon

einen Indexeintrag in der Datenbank und gibt den erzeugten Index an den IndexListener zurück. Listing 6.5 zeigt die Methode zur Approximation eines Kreises durch ein Polygon.

```
1 String approximateCircle(double lat, double lon, double r, int num) {
2     double earth_rad = 6371000.8;
3     double r_latitude = (r / earth_rad) * (180 / Math.PI);
4     double r_longitude = r_latitude / Math.cos(lat * (Math.PI / 180));
5
6     String circle = "";
7     if (num < 4)
8         num = 4;
9
10    for (int i = 0; i < num; i++) {
11        double theta = Math.PI * (i / (num / 2.0));
12        double x = lon + r_longitude * Math.cos(theta);
13        double y = lat + r_latitude * Math.sin(theta);
14        if (i != num - 1)
15            circle = circle + y + " " + x + " ";
16        else
17            circle = circle + y + " " + x;
18    }
19
20    return circle;
21 }
```

Listing 6.5: Approximation eines Kreises

Der Mittelpunkt des Kreises ist durch Längengrad (`lon`) und Breitengrad (`lat`) gegeben. Der Radius ist eine Zahl in Metern. In Zeile 3 und 4 wird der Radius in eine Längen- und Breitengrad-Form überführt. Der Parameter `num` gibt an, durch wie viele Punkte der Kreis beschrieben werden soll. In der Schleife werden die einzelnen Punkte auf der Kreisbahn berechnet. `theta` gibt dabei den Winkel des aktuellen Kreispunktes an. Die Längen- und Breitengradangaben werden aneinander gehängt. Diese Beschreibung dient dann im nächsten Schritt der Erzeugung einer Polygon-Darstellung für den Index.

6.2.2. Semantische Ausrichtung der temporalen Beschreibung

Im Rahmen der Realisierung des Prototypen muss die semantische Ausrichtung der temporalen Beschreibung in Parliament angepasst werden, da diese von der Time-Ontologie abweicht. Abbildung 6.2 stellt die Beziehungen zwischen Intervallen und Zeitpunkten grafisch dar.

Ein Intervall hat einen Anfang und ein Ende. Diese Beziehung wird über das Prädikat `hasBeginning` beziehungsweise `hasEnd` ausgedrückt. Parliament verwendet zur Beschreibung der Beziehung zwischen Intervall und Start beziehungsweise Ende die Prädikate `in-`

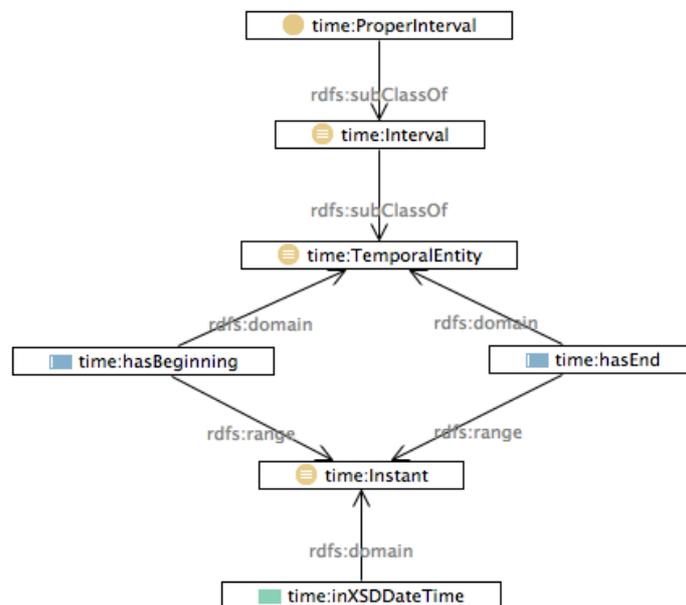


Abbildung 6.2.: Beziehungen zwischen Intervallen und Zeitpunkten

`intervallStartedBy` und `intervallFinishedBy`. Diese Relationen dienen jedoch der Beschreibung der Beziehung zwischen zwei Intervallen (vgl. Abbildung 5.8).

Wann ein Moment stattfindet wird über die Relation `inXSDDateTime` ausgedrückt. Parliament verwendet an dieser Stelle das Prädikat `xsdDateTime`, welches eine andere Semantik besitzt.

Die Probleme bei der semantischen Ausrichtung des Tripel Stores wurden im Rahmen der Realisierung des Prototypen durch eine Änderung der entsprechenden Konstanten im Quellcode des Tripel Stores korrigiert. Dies ermöglicht dem Prototypen die Verwendung der korrekten Semantik für die Beschreibung von Zeitintervallen.

6.2.3. Integration der SPIN Inferenz-Engine in Parliament

Die SPIN Inferenz-Engine läuft auf dem Parliament-Server. Sie erzeugt auf Basis der semantischen Beschreibungen der Inferenzregeln ausführbare Regeln und führt diese auf dem Tripel Store aus. Die ermittelten Fakten fügt sie der Wissensbasis für abgeleitete Fakten hinzu.

Wenn ein Benutzer Inferenzregeln in die Regel-Wissensbasis lädt, registriert das Core-Plugin der Anwendungsschicht die Regeln in der SPIN Inferenz-Engine. Hierfür ruft es ein

Servlet auf dem Parliament-Server auf und teilt diesem den Bezeichner der Wissensbasis mit, welche die zu registrierenden Regeln enthält. Im Anschluss können diese Regeln für die Inferenz von Fakten verwendet werden. Abbildung 6.3 stellt die Registrierung von Regeln bei der SPIN Inferenz-Engine grafisch dar.

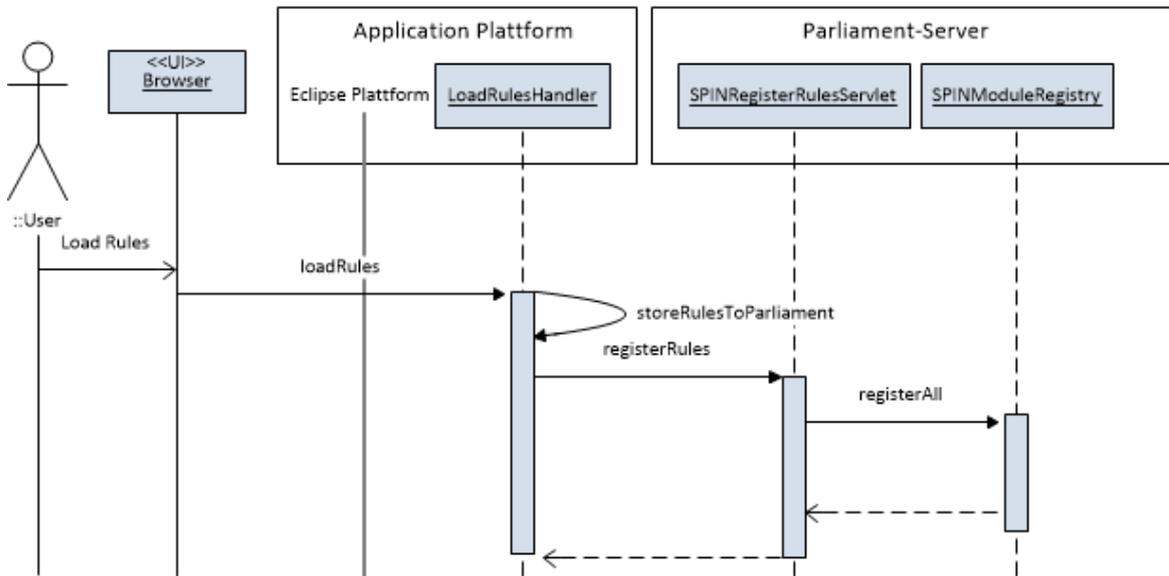


Abbildung 6.3.: Sequenzdiagramm für die Registrierung von SPIN Regeln

Die Speicherung der Regeln in Parliament erfolgt über RDF2Go und wird daher in diesem Diagramm nicht näher ausgeführt.

Das Anstoßen der Inferenz erfolgt vergleichbar zur Registrierung der Regeln. Dem `SPINInferenceServlet` werden als Parameter des Aufrufs die Bezeichner des Szenario-, Regel- und Inferenz-Graphen übergeben.

Listing 6.6 zeigt den Ablauf für die Ableitung von Fakten auf Basis der Szenario Wissensbasis und der registrierten Regeln.

```

1 int i = 1;
2 do {
3     writer.write("Running Inferences Iteration " + i + "...\\n");
4     writer.flush();
5     tempModel.removeAll();
6     SPINInferences.run(operatingModel, tempModel, cls2Query, cls2Constructor,
7         initialTemplateBindings, ex, null, true, SPIN.rule, comparator, null);
8     StmtIterator it = tempModel.listStatements();
9     while(it.hasNext()) {
10        Statement stmt = it.next();
11        operatingModel.add(stmt);
12    }
13 }
  
```

```
12  it.close();
13  inferenceModel.add(tempModel);
14  removeOutdated(operatingModelName, inferenceModelName);
15  i++;
16 } while (!tempModel.isEmpty());
```

Listing 6.6: Schleife für die Ableitung neuer Fakten

In Zeile 6 wird zunächst eine Iteration der SPIN Inferenz-Engine ausgeführt. Als Wissensbasis für die Anfragen dient dabei das `operatingModel`. Dieses Model enthält die Fakten des Szenarios sowie alle bisher abgeleiteten Fakten. Die zu verwendenden Regeln wurden bereits vorher geladen und werden in der Variable `cls2Query` übergeben. Von diesen Regeln werden alle Regeln ausgeführt, welche eine Instanz von `SPIN.rule` oder einer Verfeinerung dieses Konzeptes sind. Die anderen Parameter des Aufrufs werden an dieser Stelle nicht detaillierter erläutert, können bei Bedarf jedoch in der Dokumentation¹ der SPIN Inferenz-Engine nachgelesen werden. In den Zeilen 7 bis 12 werden dann alle neuen Fakten in das operative Modell übertragen. In Zeile 13 werden diese Fakten zudem zur Inferenz Wissensbasis hinzugefügt, da das operative Modell temporär ist und somit am Ende des Prozesses gelöscht wird.

Wie im Abschnitt [Nichtmonotonie der Inferenz](#) erläutert, ist die Inferenzregel für die Ableitung der Zustände der Infrastrukturen nichtmonoton. Aus diesem Grund müssen Fakten im Verlauf der Inferenz zurückgezogen werden können. In den Inferenzregeln existiert eine Regel, welche die Gültigkeit aller Prädikate der Inferenzregel für Prozessausführungen überprüft. Ist eine Bedingung verletzt wird die Prozessausführung als `outdated` markiert. Alle Fakten, die als `outdated` markiert wurden, werden in Zeile 14 aus der Wissensbasis entfernt.

6.3. Anbindung von Open Data Quellen

Im Abschnitt [Entwurf der Informationsintegration](#) wurde eine Schnittstelle für den Import von Infrastrukturkomponenten aus dem Internet entworfen. In diesem Abschnitt sollen zwei Implementierungen der Schnittstelle vorgestellt werden. Im Prototypen werden als Datenquellen Open Street Map, Wikimapia und Cell Reception verwendet. Die Implementierungen für Open Street Map und Wikimapia ähneln sich sehr stark. Der Unterschied besteht darin, dass bei Wikimapia keine Konvertierung der Anfrage stattfindet. Aus diesem Grund soll in diesem Abschnitt die aufwändigere Realisierung für Open Street Map erläutert werden. Als zweite Datenquelle soll die Anbindung an CellReception erläutert werden.

¹<http://topbraid.org/spin/api/1.2.0/spin/apidocs/>

6.3.1. Open Street Map

Open Street Map (OSM) ist ein freies Projekt, das Geodaten sammelt und zur freien Nutzung zur Verfügung stellt (*Open Data*). Die von Open Street Map gesammelten Daten können mit Hilfe der *Overpass API* (siehe [OverpassAPI, 2013](#)) abgefragt werden. Die Ergebnisse einer Abfrage werden dann in Form von *OSM XML* (siehe [OpenStreetMap, 2013b](#)) zur Verfügung gestellt.

Das Datenmodell von Open Street Map beschreibt alle geografischen Daten mit Hilfe von Knoten, Wegen und Relationen. kritische Infrastrukturen werden in Open Street Map entweder als Knoten in Punktform oder als Weg beschrieben. Der Weg beschreibt die geografische Lage einer Infrastrukturkomponente durch ein Polygon.

Knoten, Wege und Relationen können in Open Street Map durch Tags, sogenannten *Map Features* ([OpenStreetMap, 2013a](#)), annotiert werden. Ein Tag besteht aus einem Schlüssel und einem Wert.

Abbildung 6.4 visualisiert den Prozess, in welchem die benötigten Daten aus Open Street Map abgefragt und in die Infrastruktur Ontologie überführt werden.

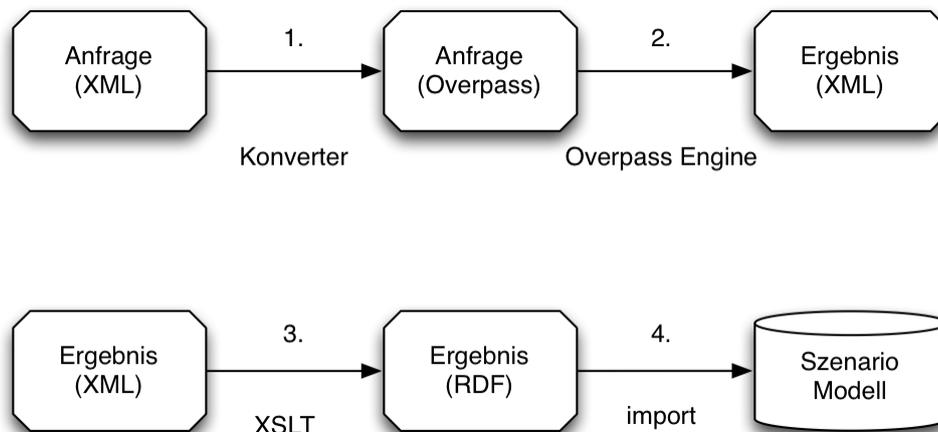


Abbildung 6.4.: Import kritischer Infrastrukturen aus Open Street Map

Die Anfrage im XML-Format kann dem Importer über die Methode `setQuery` der Importer-Schnittstelle übergeben werden. Im ersten Schritt wird zunächst die Anfrage mit Hilfe eines Webservices in das Overpass-Format konvertiert. Die Overpass Anfrage wird dann im zweiten Schritt an die Overpass Engine geschickt, welche das Ergebnis der Anfrage im OSM XML-Format zur Verfügung stellt.

Im dritten Schritt wird das Ergebnis der Anfrage mit Hilfe des Mapping-Skriptes im XSLT-Format in das Infrastruktur-Ontologie-Format überführt. Die Instanz des Importers kann über die Methode `setMapping` mit einem Mapping-Script konfiguriert werden.

Knoten werden während der Konvertierung direkt zu einer Infrastruktur des entsprechenden Typs umgewandelt. Wird eine Infrastruktur durch einen Weg beschrieben, wird mit Hilfe einer XSLT-Java-Erweiterung der Mittelpunkt des Polygons als Position der Infrastruktur berechnet. Verfügt der Knoten oder Weg über ein Name-Tag, so wird dessen Wert als Bezeichnung der importierten Infrastruktur übernommen.

Über die Methode `setParameter` der Importer-Schnittstelle können Parameter an den XSLT-Prozessor übergeben werden. Hierdurch ist es möglich einen standard Output-Radius für Infrastrukturen festzulegen und diesen während des Konvertierungsprozesses für alle importierten Infrastrukturkomponenten zu setzen.

Im vierten und letzten Schritt wird das konvertierte Ergebnis dem Szenario-Modell durch Aufruf der Methode `importToModel` hinzugefügt.

6.3.2. CellReception

In den Datenquellen von Open Street Map und Wikimapia befinden sich zur Zeit nur sehr wenig Informationen über die Standorte von Mobilfunkmasten. CellReception bietet eine umfangreiche Datenbank über den Standort von Mobilfunkmasten in den USA. Diese Informationen sollen vom Prototypen für den Import genutzt werden.

Mobilfunkmasten können in CellReception auf einer GoogleMaps-Karte angezeigt werden. Ein Webservice liefert die Standorte der Mobilfunkmasten in Form von JavaScript-Aufrufen auf der GoogleMaps-API. Die Implementierung der Importer-Instanz CellReception erfordert keine Konfiguration mit einer Abfrage oder einem Mapping. Nur der gewählte Kartenausschnitt muss dem Importer übergeben werden. Das JavaScript des Webservices wird im Anschluss durch PatternMatching aufgespalten und die benötigten Informationen über Position und Bezeichnung werden extrahiert. Im Anschluss kann dann ein Individuum von CellTower in der Wissensbasis erzeugt werden, welches mit den ermittelten Informationen konfiguriert werden kann.

6.4. Generierung der Graphen

In diesem Abschnitt wird die Generierung des Abhängigkeitsgraphen (siehe *FA-Lb5*) sowie der Erklärungsgraphen (siehe *FA-Lb9*) erläutert.

6.4.1. Generierung des Abhängigkeitsgraphen

Der Abhängigkeitsgraph visualisiert die kausalen Abhängigkeiten zwischen Schadensereignissen und den resultierenden infrastrukturbedingten Gefahren. Listing 6.7 stellt einen Auszug des Quellcodes zur Generierung des Graphen dar.

```
1 statements = ModelUtils.getEntityListFromIterator(inferenceModel.  
    findStatements(Variable.ANY, Event.causesDirect, Variable.ANY));  
2  
3 // Add subject nodes  
4 for(Statement statement : statements) {  
5     Resource res = statement.getSubject();  
6     if(subjectNodes.containsKey(res)) continue;  
7     String label = getLabelForResource(res);  
8  
9     if(label != null) {  
10        subjectNodes.put(res, new GraphNode(graph, SWT.NONE, label));  
11    }  
12 }  
13  
14 // Add object nodes  
15 ...  
16  
17 // add predicates as connections  
18 for(Statement statement : statements) {  
19     Resource subject = statement.getSubject();  
20     URI predicate = statement.getPredicate();  
21     Node object = statement.getObject();  
22     if(subjectNodes.containsKey(subject) && objectNodes.containsKey(object)) {  
23         GraphConnection connection = new GraphConnection(graph, ZestStyles.  
            CONNECTIONS_DIRECTED,  
24             subjectNodes.get(subject), objectNodes.get(object));  
25         connection.setText(ModelUtils.toShortForm(predicate.toString()));  
26         connections.put(statement, connection);  
27     }  
28 }
```

Listing 6.7: Generierung des Abhängigkeitsgraphen

Zunächst werden in Zeile 1 alle Fakten der Wissensbasis geladen, die in einer `causesDirect` Beziehung zueinander stehen. Hierbei handelt es sich um alle Gefahren der Wissensbasis die andere Gefahren bedingen oder sich als Folge von diesen ergeben.

In den Zeilen 4 bis 12 werden zu allen Gefahren, im Subjekt der geladenen Fakten, Knoten erzeugt. Ist eine Gefahr der Auslöser mehrerer anderer Gefahren, existieren mehrere Fakten mit der gleichen Gefahr im Subjekt in der Wissensbasis. In Zeile 6 wird überprüft, ob

bereits ein Knoten für die Gefahr angelegt wurde. Sollte dem nicht so sein, wird in Zeile 7 die Bezeichnung für die Gefahr bestimmt. Konnte eine Bezeichnung ermittelt werden, wird ein neuer Knoten erzeugt und in einer Map abgelegt, damit er später wiedergefunden werden kann. Der Ablauf für das Hinzufügen von Knoten für die Gefahren im Objekt ist mit dem eben beschriebenen Verfahren vergleichbar. Aus diesem Grund wird es nicht noch einmal aufgeführt.

Wurden alle Knoten des Graphen erzeugt, müssen die Verbindungen zwischen ihnen erzeugt werden. Dies erfolgt ab Zeile 18. Wurden für eine kausale Abhängigkeit Knoten erzeugt (Zeile 22), dann werden die Knoten von Subjekt und Objekt durch eine gerichtete Verbindung verknüpft. Dies geschieht in Zeile 23. Als Bezeichnung der Kante wird der Name des Prädikates verwendet.

Bei dem beschriebenen Verfahren wird für jeden Betriebszustand einer kritischen Infrastrukturkomponente, von dem eine potentielle Gefahr ausgeht, ein Knoten im Abhängigkeitsgraphen erzeugt. Bei einer großen Anzahl an Infrastrukturkomponenten wird der Abhängigkeitsgraph, auf Grund einer großen Anzahl an Knoten, leicht unübersichtlich. Aus diesem Grund realisiert der Prototyp einen aggregierten Abhängigkeitsgraphen, bei dem gleiche Gefahren unterschiedlicher Infrastrukturkomponenten zu einem Knoten zusammengefasst werden. Die Implementierung des aggregierten Graphen unterscheidet sich von der beschriebenen Realisierung in nur einem Punkt. Bei der Erzeugung der Knoten wird nicht die Ressource der Gefahr, sondern die Bezeichnung in der Map abgelegt. Existieren mehrere Gefahren mit der gleichen Bezeichnung werden diese dann zu einem Knoten aggregiert.

6.4.2. Generierung des Erklärungsgraphen

Der Erklärungsgraph gibt eine graphische Erklärung dafür, wieso eine Gefahr eine andere Gefahr bedingt. Wird im Abhängigkeitsgraph eine `causesDirect` Beziehung ausgewählt, kann hierfür eine Erklärung angezeigt werden. Die Erklärung wird auf Basis der Inferenzregel zur Ermittlung von Gefahren (Formel 5.11) aus Abschnitt 5.1.3 erzeugt. Für jede abgeleitete Gefahr werden alle Variablenunifikationen in einer Erklärung gespeichert. Listing 6.8 zeigt die Abfrage zum Laden der Unifikationen eines Faktes.

```

1 SELECT ?varName ?value WHERE { ?explanation a exp:Explanation .
2   ?explanation rdfs:subject ?arg1 .
3   ?explanation rdfs:predicate ?arg2 .
4   ?explanation rdfs:object ?arg3 .
5   ?explanation exp:binding ?binding .
6   ?binding exp:boundTo ?value .
7   ?binding sp:varName ?varName .
8 }

```

Listing 6.8: Abfrage zur Ermittlung der Variablenunifikation eines Faktes

In Zeile 2 bis 4 werden Subjekt, Prädikat und Objekt des Faktes, zu dem eine Erklärung angezeigt werden soll, gebunden. Eine Erklärung besitzt für jede unifizierte Variable ein `binding`, das den Variablennamen der Regel (`varName`) mit dem gebundenen Wert (`value`) in Beziehung setzt.

Für die Generierung des Graphen werden alle Variablenunifikationen für einen Fakt geladen. Für jeden gebundenen Wert wird ein Knoten im Erklärungsgraphen erzeugt. Listing 6.9 zeigt diesen Vorgang.

```

1 QueryResultTable result = queryInferenceModelForNodes(statement);
2 List<QueryRow> bindings = ModelUtils.getEntityListFromIterator(result.iterator
  ());
3
4 variableMappings = createVariableMappingsForBindings(bindings);

```

Listing 6.9: Generierung der Knoten des Erklärungsgraphen

Die Variable `bindings` enthält alle Variablenunifikationen für den übergebenen Fakt. Die Methode `createVariableMappingsForBindings` erzeugt für jeden gebundenen Wert einen Knoten und legt diesen unter dem Variablennamen in einer Map ab.

Die Kanten zwischen den Knoten ergeben sich aus der Struktur der Regel. Listing 6.10 zeigt die Abfrage zum Laden der semantischen Beschreibung einer Regel aus der Regel-Wissensbasis.

```

1 SELECT ?subjectVar ?predicate ?objectVar ?subject ?object
2 WHERE {{
3   events:Problem spin:rule ?rule .
4   ?rule sp:where ?where .
5   ?where rdf:rest*/rdf:first ?statement .
6 }
7 UNION {
8   SELECT ?statement WHERE {
9     events:Problem spin:rule ?rule .
10    ?rule sp:where ?where .
11    ?where rdf:rest*/rdf:first ?statement2 .
12    ?statement2 sp:elements ?elements .
13    ?elementsrdf:rest*/rdf:first ?statement .
14  }
15 }
16 ?statement sp:object ?object .
17 ?statement sp:predicate ?predicate .
18 ?statement sp:subject ?subject .
19 OPTIONAL {?subject sp:varName ?subjectVar . }
20 OPTIONAL {?object sp:varName ?objectVar . }
21 }

```

Listing 6.10: Abfrage zur Ermittlung der Inferenzregel

In Zeile 3 wird die semantische Beschreibung der Inferenzregel zur Ableitung von Problemen geladen. Der `where`-Teil einer Regel enthält die Struktur der Regel. In diesem werden die Beziehungen zwischen den Variablen und Konstanten hergestellt. Von Zeile 5 bis 15 werden die Aussagen (`statements`) geladen, die zur Unifikation der Variablen verwendet werden und eine Beziehung zwischen den Variablen und Konstanten herstellen. Handelt es sich bei `subject` oder `object` um eine Variable und nicht um eine Konstante, so wird der Variablenname an `subjectVar` beziehungsweise `objectVar` gebunden.

Für die Generierung des Erklärungsgraphen wird die Struktur einer Regel geladen. Hierdurch werden die Kanten zwischen den Knoten des Graphen erzeugt. Listing 6.11 zeigt diesen Vorgang.

```
1 QueryResultTable result = queryRuleModelForConnections();
2 List<QueryRow> clauses = ModelUtils.getEntityListFromIterator(result.iterator
  ());
3 for(QueryRow clauseRow : clauses) {
4
5     Node subjectVarNode = clauseRow.getValue("subjectVar");
6     String subjectVar = getSubjectVarName(subjectVarNode);
7
8     Node objectVarNode = clauseRow.getValue("objectVar");
9     String objectVar = getObjectVarName(objectVarNode);
10
11    Node predicate = clauseRow.getValue("predicate");
12
13    GraphNode subjectNode = variableMappings.get(subjectVar);
14    GraphNode objectNode = variableMappings.get(objectVar);
15    if(subjectNode != null && objectNode != null) {
16        GraphConnection connection = new GraphConnection(graph, ZestStyles.
          CONNECTIONS_DIRECTED,
17            subjectNode, objectNode);
18        connection.setText(ModelUtils.toShortForm(predicate.toString()));
19    }
20 }
```

Listing 6.11: Generierung der Kanten des Erklärungsgraphen

In Zeile 1 wird die Struktur der Regel geladen. In den Zeilen 5 bis 10 werden die Variablennamen für Subjekt und Objekt ermittelt. In Zeile 11 wird das Prädikat, das Subjekt und Objekt in Beziehung setzt, an die Variable `predicate` gebunden. In den Zeilen 13 und 14 werden die Knoten für die Variablennamen von Subjekt und Objekt aus der Map geladen. Abschließend wird dann in Zeile 16 eine Kante zwischen Subjekt und Objekt mit der Bezeichnung des Prädikates erzeugt.

7. Ergebnisse

In diesem Kapitel soll mit Hilfe des entwickelten Prototypen das New Orleans Beispielszenario analysiert werden. Im ersten Abschnitt werden hierzu die Auswirkungen von Hurrikans auf ausgewählte kritische Infrastrukturen mit Hilfe der entwickelten Ontologie beschrieben und die Korrektheit der Realisierung für jede modellierte Infrastrukturklasse separat verifiziert. Bei diesem Schritt handelt es sich um Phase 1, der Externalisierungsphase, des entwickelten Wissensmanagement-Zyklusses zur Analyse der Abhängigkeiten kritischer Infrastrukturen (siehe 5.1.1) Im Anschluss wird das New Orleans Beispielszenario auf Basis der modellierten Infrastruktur-Konzepte beschrieben. Hierbei werden die dynamischen Fakten mit spatiolem und temporalem Bezug importiert beziehungsweise eingegeben. Der dritte Abschnitt erläutert die Ergebnisse der semantischen Abhängigkeitsanalyse des Beispielszenarios. Abschließend werden diese den Ereignissen von Katrina gegenübergestellt.

7.1. Infrastrukturkonzepte

In diesem Abschnitt werden die Auswirkungen von Hurrikans auf Kraftwerke, Umspannwerke, Wasseraufbereitungsanlagen, Mobilfunkmasten, Drainagepumpen, Öl-Raffinerien sowie Pflegeheime und Krankenhäuser modelliert. Für jede dieser Klassen wird anschließend die Korrektheit der Realisierung verifiziert. Hierfür wird jede Infrastrukturklasse unter den, für sie relevanten, Umweltzuständen und verfügbaren Infrastrukturoutputs analysiert. Die ermittelten Betriebszustände werden dann mit dem erwarteten Betriebszuständen abgeglichen, um die Korrektheit der Realisierung zu zeigen.

7.1.1. Beschreibung der Konzepte

Kraftwerke

Ein Kraftwerk stellt im Normalbetrieb Strom mit hoher Spannung zur Verfügung. Durch die hohe Spannung ist der Energieverlust während des Energietransports geringer. Die benötigten Ressourcen für die Energiegewinnung hängen von der Art des Kraftwerks ab. Da die

Zulieferer des Kraftwerks nicht im Scope des Szenarios liegen, werden diese Ressourcen bei der Modellierung nicht berücksichtigt.

Wird ein Kraftwerk überflutet, besteht die Gefahr des Kraftwerksausfalls. In diesem Fall stellt es keine Energie mehr zur Verfügung. Abbildung 7.1 zeigt das Infrastrukturmodell eines Kraftwerks.

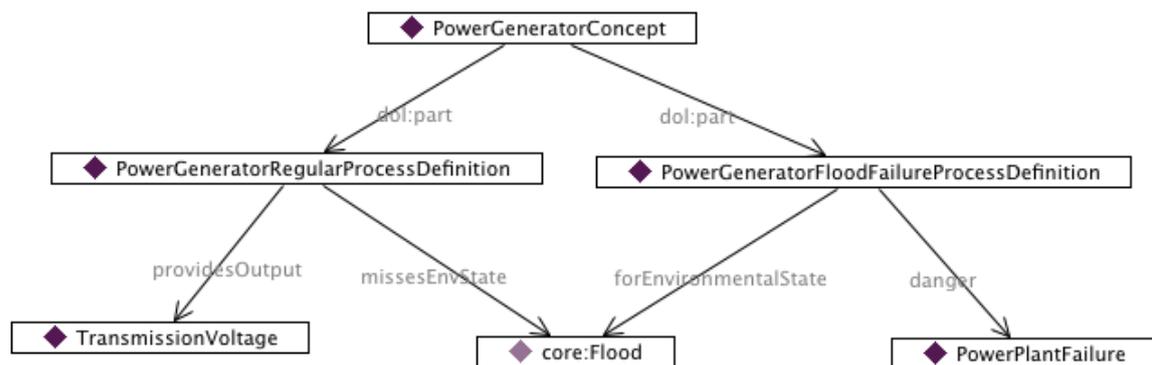


Abbildung 7.1.: Kraftwerk Infrastruktur-Konzept

Umspannwerke

Umspannwerke werden dafür benötigt, um die Transportspannung der Kraftwerke in Verbrauchsspannung umzuwandeln. Im regulären Zustand benötigt ein Umspannwerk daher Transportspannung und stellt Strom mit niedrigerer Spannung zur Verfügung. Umspannwerke sind in ihrer Funktion von zwei Faktoren abhängig. Zum einen führt ein Verlust der Transportspannung dazu, dass sie keine Verbrauchsspannung mehr zur Verfügung stellen können. Zum anderen führt die Überflutung eines Umspannwerks zu dessen Ausfall. Abbildung 7.2 zeigt das Infrastrukturmodell eines Umspannwerkes.

Notstrom-Generatoren

Viele kritische Infrastrukturen besitzen Notstrom-Generatoren, die es der Infrastruktur ermöglichen ihre Arbeit auch bei einem Ausfall der öffentlichen Stromversorgung fortzusetzen. Ist die öffentliche Stromversorgung intakt, befindet sich ein Notstrom-Generator im Standby-Zustand. Fällt die Stromversorgung aus, generiert der Notstrom-Generator unter der Verwendung von Treibstoff Notstrom. Ein Notstrom-Generator fällt aus, wenn entweder kein Treibstoff zur Verfügung steht, oder der Generator überflutet wird. Abbildung 7.3 veranschaulicht die Modellierung eines Notstrom-Generators.

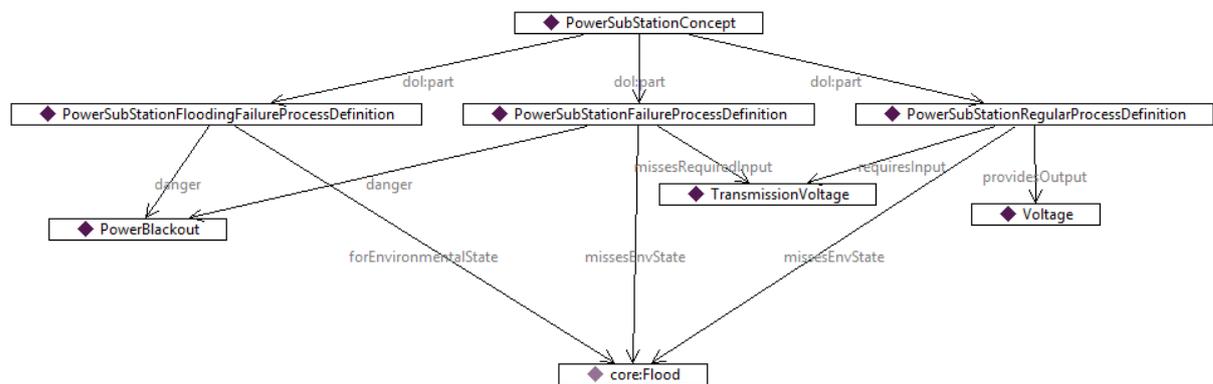


Abbildung 7.2.: Umspannwerk Infrastruktur-Konzept

Wasseraufbereitung

Wasseraufbereitungsanlagen dienen der Säuberung von Wasser zu Trinkwasser. Für die dafür erforderlichen Pumpen wird Strom benötigt. Im regulären Zustand wird Strom der öffentlichen Stromversorgung verwendet. Oft besitzen Wasseraufbereitungsanlagen einen Notstrom-Generator, um auch bei einem Stromausfall die Arbeit fortsetzen zu können. In der Zeit zwischen Stromausfall und dem Anspringen des Notstrom-Generators kann es zu einem Druckabfall im Leitungssystem kommen, was zu einem Bakterienbefall des Wassers führen kann. Auch die Überflutung einer Wasseraufbereitungsanlage kann zu einer Verschmutzung des Trinkwassers führen. Wird eine Wasseraufbereitungsanlage überflutet und läuft diese mit Notstrom, besteht die Gefahr, dass die Trinkwasserversorgung komplett zusammenbricht, wenn auch der Notstrom-Generator überflutet wird. Zur chemischen Reinigung des Wassers werden meist Chemikalien benötigt. Hiervon wird jedoch in diesem Modell abstrahiert. [Abbildung 7.4](#) stellt die Modellierung einer Wasseraufbereitungsanlage dar.

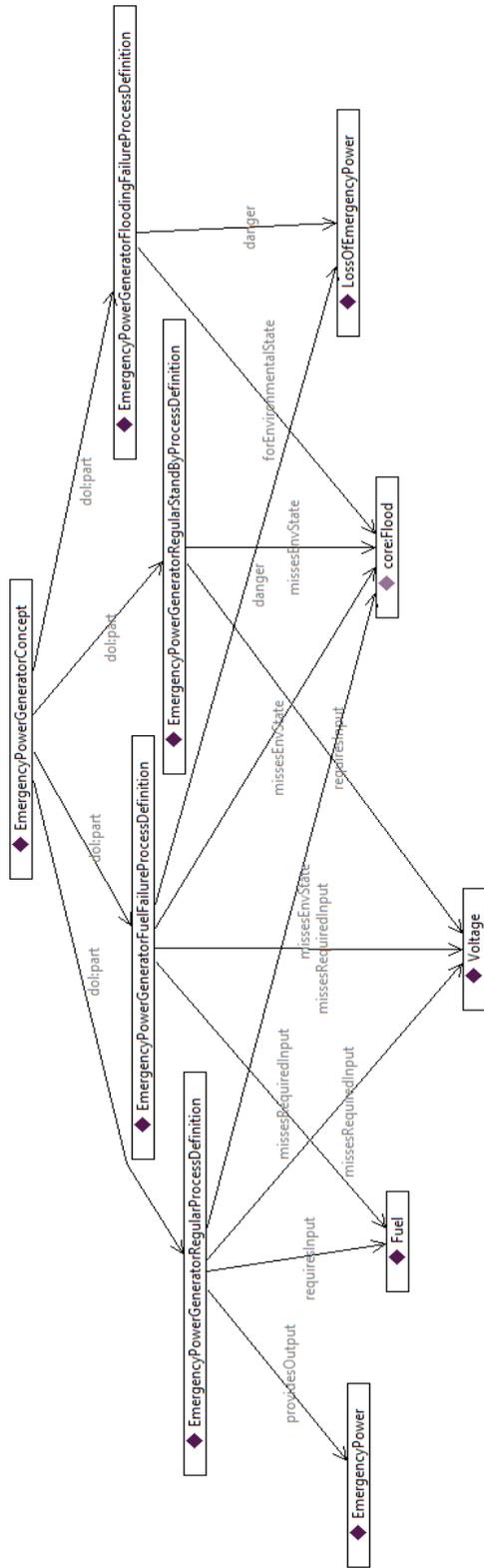


Abbildung 7.3.: Notstrom-Generator Infrastruktur-Konzept

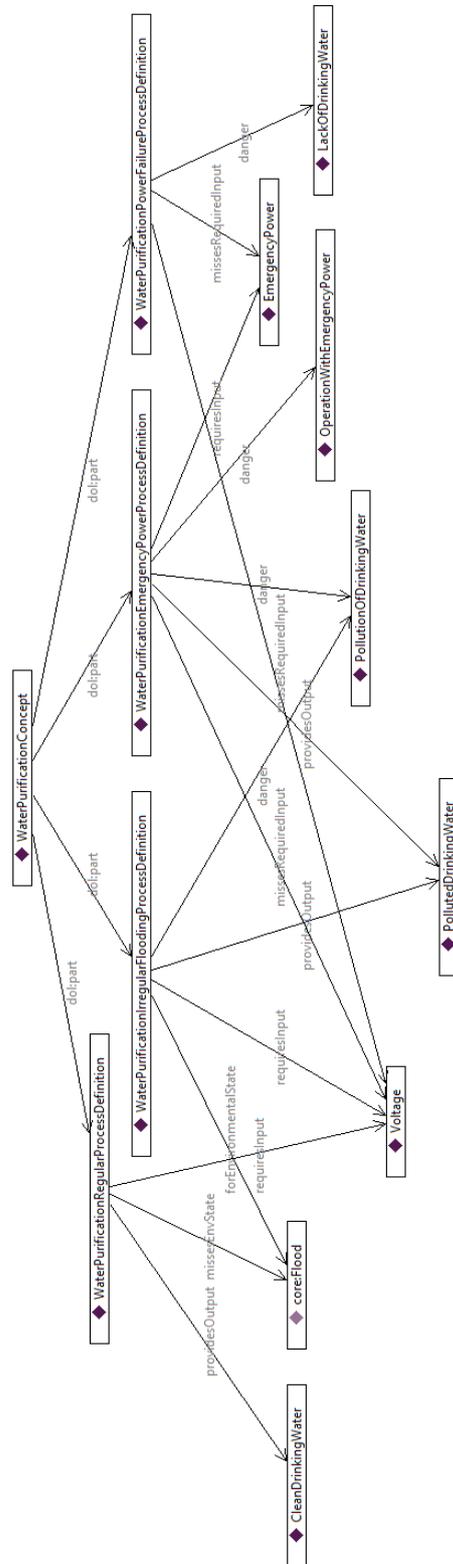


Abbildung 7.4.: Wasseraufbereitung Infrastruktur-Konzept

Drainagepumpen

Die Drainagepumpen arbeiten mit einer Spannung von 25 Hz, die vom S&WB Kraftwerk zur Verfügung gestellt wird. Eine Überflutung der Drainagepumpe oder ein Ausfall des Kraftwerks führen zu einem Ausfall der Drainagepumpe. Das 25 Hz Kraftwerk entspricht der Modellierung eines herkömmlichen Kraftwerkes, mit dem Unterschied, dass es anstatt Transportspannung 25 Hz Spannung erzeugt. Abbildung 7.5 zeigt das Infrastrukturmodell einer Drainagepumpe.

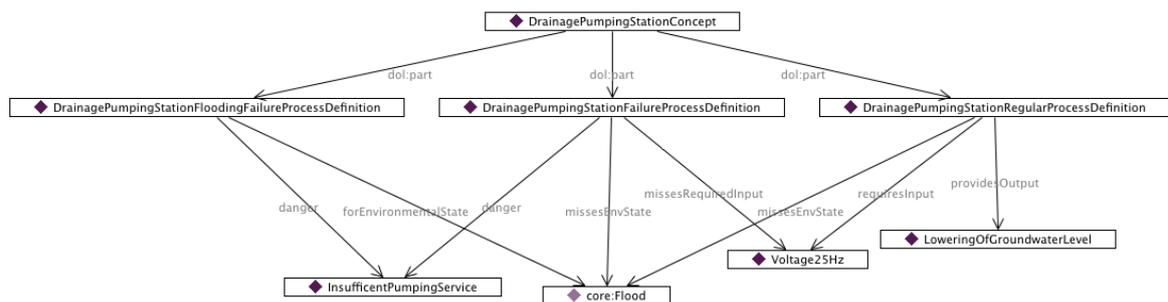


Abbildung 7.5.: Drainagepumpe Infrastruktur-Konzept

Mobilfunkmasten

Im Bereich der Kommunikationsinfrastruktur wurden stellvertretend für alle Funkkommunikationsmittel der Mobilfunkmast gewählt. Mobilfunkmasten ermöglichen die Kommunikation von Personen innerhalb ihres Senderadius. Sie benötigen Strom zum Senden und Empfangen und sind anfällig gegenüber starkem Wind. Abbildung 7.6 zeigt das Infrastrukturmodell eines Mobilfunkmastes.

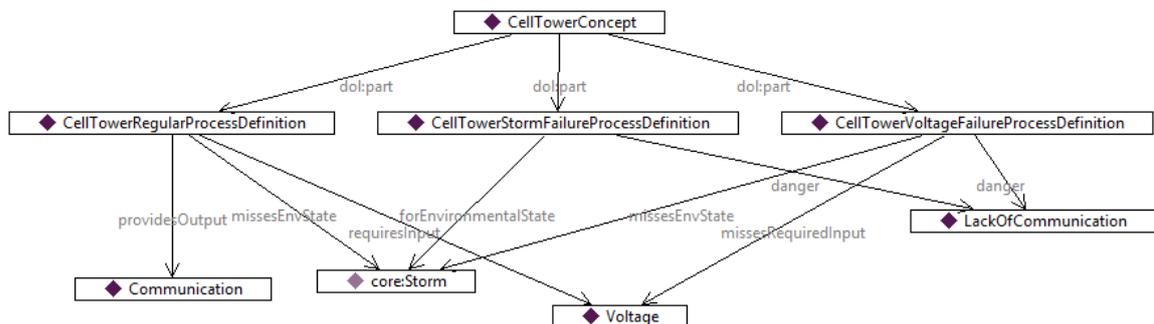


Abbildung 7.6.: Mobilfunkmast Infrastruktur-Konzept

Öl-Raffinerien

Öl-Raffinerien stellen aus Rohöl unter anderem Treibstoff her, der dann über Pipelines oder andere Transportmittel zum Händler geleitet wird. Raffinerien erhalten ihr Rohöl von außerhalb des Simulationsgebietes, weshalb von der Rohölversorgung bei der Modellierung abstrahiert wird. Raffinerien benötigen Strom, um Treibstoff zu produzieren. Einige Raffinerien besitzen einen Notstrom-Generator, um im Falle eines Stromausfalls betriebsfähig zu bleiben. Die Überflutung einer Raffinerie macht diese funktionsunfähig. Abbildung 7.8 zeigt das Infrastrukturmodell einer Raffinerie.

Krankenhäuser

Da die Krankenhäuser in New Orleans vor Landfall von Katrina nicht evakuiert werden, sind auch sie eine kritische Infrastruktur, die bei der Analyse berücksichtigt werden sollte. Krankenhäuser stellen im Normalbetrieb medizinische Betreuung zur Verfügung und benötigen dafür Strom. Für den Fall, dass die öffentliche Stromversorgung ausfällt, können sie den Betrieb für einige Zeit mit Notstrom aufrechterhalten. Im Fall, dass ein Krankenhaus überflutet wird, muss es seinen Betrieb einstellen und die Patienten müssen evakuiert werden. Abbildung 7.9 zeigt das Infrastrukturmodell eines Krankenhauses.

Pflegeheime

Neben den Krankenhäusern werden im Beispiel von New Orleans auch die Pflegeheime von der Evakuierung der Stadt ausgeschlossen. Pflegeheime benötigen Strom für den Betrieb von medizinischen Versorgungsgeräten. Fällt der Strom aus, müssen die Pflegebedürftigen evakuiert werden. Abbildung 7.7 zeigt das Infrastrukturmodell eines Pflegeheimes.

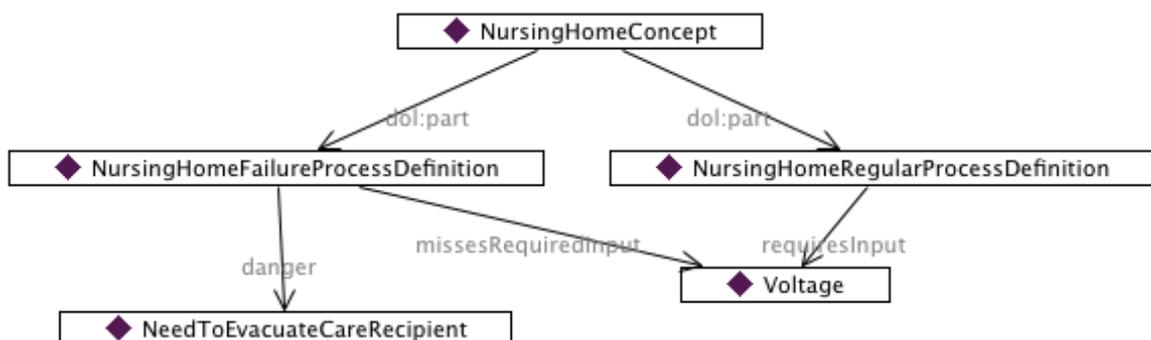


Abbildung 7.7.: Pflegeheim Infrastruktur-Konzept

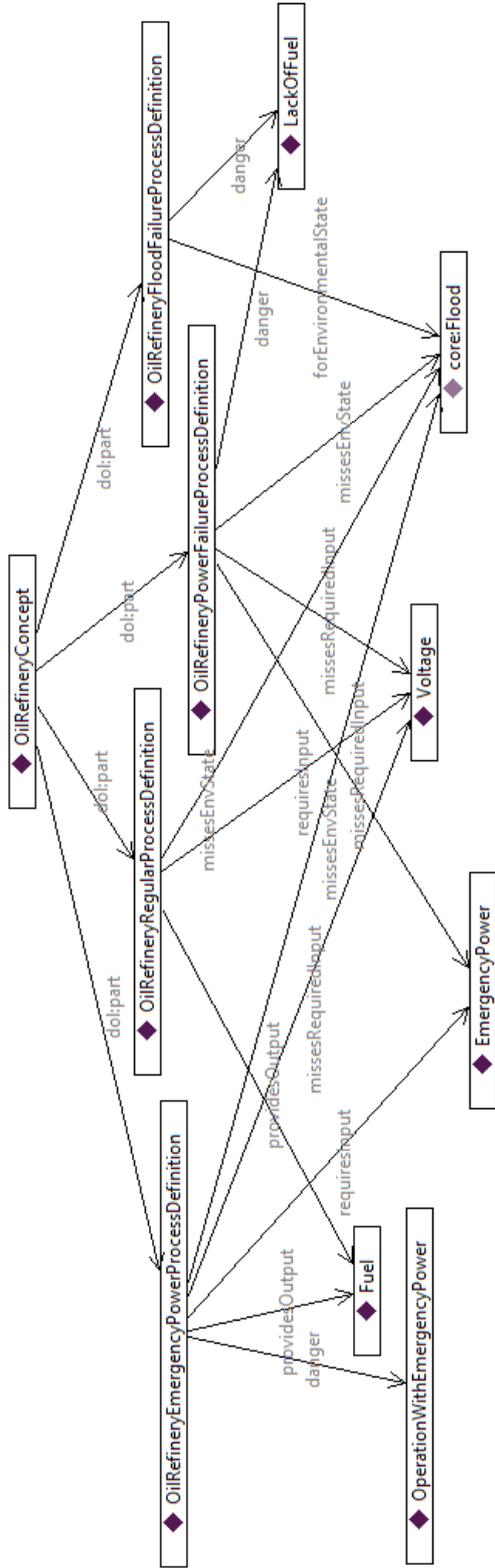


Abbildung 7.8.: Öl-Raffinerie Infrastruktur-Konzept

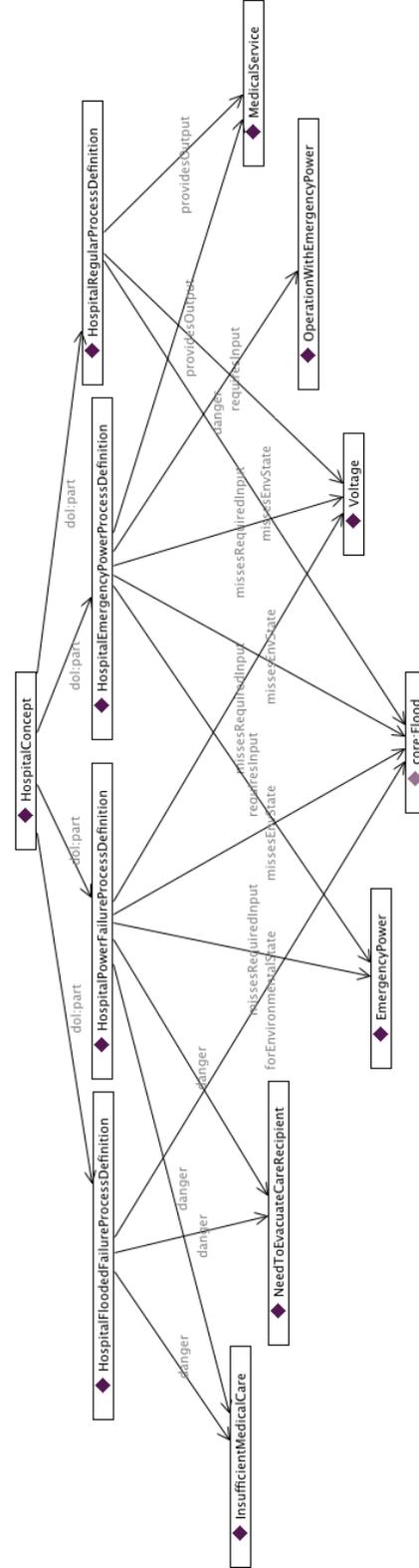


Abbildung 7.9.: Krankenhaus Infrastruktur-Konzept

Wohngebiete

Der Ausfall kritischer Infrastrukturen hat direkte Auswirkungen auf die Anwohner von New Orleans, die in Pflegeheimen, Notunterkünften und vereinzelt noch in ihren Wohnhäusern leben. Eine Überflutung von Wohngebieten macht die Evakuierung der überfluteten Gebiete notwendig. Wird ein Wohngebiet mit verschmutztem Leitungswasser versorgt, muss dieses von den Anwohnern abgekocht werden, bevor es getrunken werden kann. Fällt gleichzeitig die Kommunikation aus, erreicht dieser Hinweis die Anwohner unter Umständen nicht und es kann dazu kommen, dass diese das verunreinigte Wasser trinken und erkranken. Abbildung 7.11 beschreibt diese Auswirkungen auf die Anwohner.

Da New Orleans unterhalb des Meeresspiegels liegt, muss die Stadt durchgängig entwässert werden. Fallen die Drainagepumpen aus, steigt der Wasserspiegel und die betroffenen Häuser müssen unter Umständen evakuiert werden. Abbildung 7.10 beschreibt diese weiteren Auswirkungen auf die Anwohner.

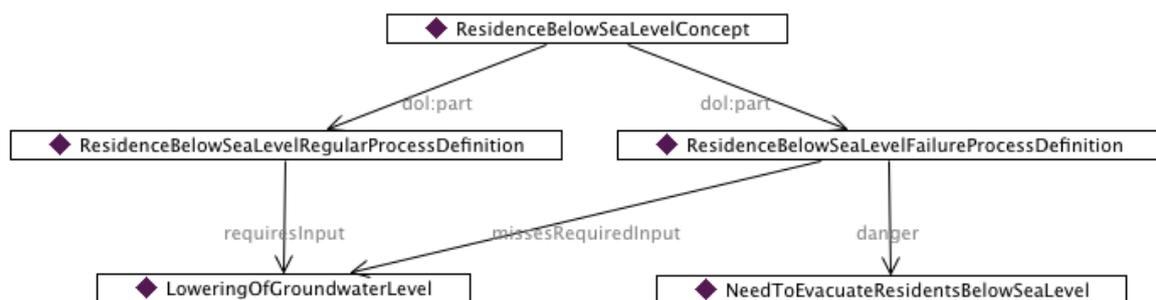


Abbildung 7.10.: Wohngebiet unterhalb des Meeresspiegels Infrastruktur-Konzept

7.1.2. Verifizierung der Konzepte

In diesem Abschnitt werden die Infrastruktur-Konzepte des vorherigen Abschnittes verifiziert, um sicher zu stellen, dass sich jede kritische Infrastruktur unter definierten Bedingungen im erwarteten Betriebszustand befindet. Für jedes Konzept werden die berechneten Zustände in Abhängigkeit der relevanten Faktoren tabellarisch dargestellt. Ein Zustand ist für die Berechnung eines Betriebszustandes dann relevant, wenn er im semantischen Modell des Infrastruktur-Konzeptes aus dem letzten Abschnitt enthalten ist. Ein „X“ in der Zelle der Zustandstabelle symbolisiert, dass der entsprechende Umweltzustand oder Output an der Position der Infrastrukturkomponente vorhanden ist. Enthält eine Zelle kein „X“, fehlt dieser Umweltzustand oder Output an der Position der Infrastrukturkomponente.

Kraftwerke

Nach Modellierung sind Kraftwerke vom Umweltzustand Überflutung abhängig. Tabelle 7.1 zeigt die Betriebszustände eines Kraftwerks mit und ohne Überflutung.

Flut	Berechneter Zustand
	Regulärer Zustand
X	Ausfall-Zustand (Flut)

Tabelle 7.1.: Zustandstabelle Kraftwerk

Umspannwerke

Umspannwerke sind vom Umweltzustand Überflutung sowie einer Versorgung mit Transportspannung abhängig. Wird ein Umspannwerk überflutet und es steht keine Transportspannung zur Verfügung, befindet sich das Umspannwerk entsprechend der Modellierung im Flut-Ausfall-Zustand, da das Umspannwerk auch bei Verfügbarkeit der Spannung nicht funktionsfähig wäre. Tabelle 7.2 zeigt die berechneten Zustände eines Umspannwerkes in Abhängigkeit der relevanten Faktoren.

Notstrom-Generatoren

Notstrom-Generatoren sind anfällig gegenüber Überflutung und benötigen Treibstoff als Betriebsmittel. Ob Notstrom benötigt wird oder nicht, hängt von der Verfügbarkeit von Strom

Flut	Transportspannung	Berechneter Zustand
		Ausfall-Zustand (Transportspannung)
X		Ausfall-Zustand (Flut)
	X	Regulärer Zustand
X	X	Ausfall-Zustand (Flut)

Tabelle 7.2.: Zustandstabelle Umspannwerk

nach Gefahreintritt ab. Die Verfügbarkeit von Treibstoff ist nur dann relevant, wenn Bedarf an Notstrom besteht. Wird der Notstrom-Generator überflutet, fällt er unabhängig von der Verfügbarkeit von Betriebsmitteln aus. Tabelle 7.3 zeigt die berechneten Zustände eines Notstrom-Generators in Abhängigkeit der relevanten Faktoren.

Flut	Spannung	Treibstoff	Berechneter Zustand
			Ausfall-Zustand (Treibstoff)
X			Ausfall-Zustand (Flut)
	X		Standby-Zustand
X	X		Ausfall-Zustand (Flut)
		X	Regulärer Zustand
X		X	Ausfall-Zustand (Flut)
	X	X	Standby-Zustand
X	X	X	Ausfall-Zustand (Flut)

Tabelle 7.3.: Zustandstabelle Notstrom-Generator

Wasseraufbereitungsanlage

Eine Wasseraufbereitungsanlage ist in der Lage bei Überflutung funktionsfähig zu bleiben, sofern ihr Strom zur Verfügung steht. Wird die Anlage überflutet oder muss sie mit Notstrom betrieben werden, besteht die Gefahr, dass das Wasser verunreinigt wird. Tabelle 7.4 zeigt die berechneten Zustände einer Wasseraufbereitungsanlage in Abhängigkeit der relevanten Faktoren.

Drainagepumpen

Drainagepumpen benötigen 25 Hz Spannung und sind anfällig für Überflutung. Tabelle 7.5 zeigt die berechneten Zustände einer Drainagepumpe in Abhängigkeit der relevanten Faktoren.

Flut	Spannung	Notstrom	Berechneter Zustand
			Ausfall-Zustand (Spannung)
X			Ausfall-Zustand (Spannung)
	X		Regulärer Zustand
X	X		Irregulärer Zustand (Verschmutztes Wasser)
		X	Irregulärer Zustand (Notstrom)
X		X	Irregulärer Zustand (Notstrom)
	X	X	Regulärer Zustand
X	X	X	Irregulärer Zustand (Verschmutztes Wasser)

Tabelle 7.4.: Zustandstabelle Wasseraufbereitungsanlage

Flut	25 Hz Spannung	Berechneter Zustand
		Ausfall-Zustand (25 Hz Spannung)
X		Ausfall-Zustand (Flut)
	X	Regulärer Zustand
X	X	Ausfall-Zustand (Flut)

Tabelle 7.5.: Zustandstabelle Drainagepumpe

Mobilfunkmasten

Mobilfunkmasten benötigen Spannung und sind anfällig für Sturm. Tabelle 7.6 zeigt die berechneten Zustände eines Mobilfunkmastes in Abhängigkeit der relevanten Faktoren.

Sturm	Spannung	Berechneter Zustand
		Ausfall-Zustand (Spannung)
X		Ausfall-Zustand (Sturm)
	X	Regulärer Zustand
X	X	Ausfall-Zustand (Sturm)

Tabelle 7.6.: Zustandstabelle Mobilfunkmast

Öl-Raffinerien

Öl-Raffinerien benötigen Strom zur Herstellung von Treibstoff. Wird eine Öl-Raffinerie überflutet wird sie funktionsunfähig. Tabelle 7.7 zeigt die berechneten Zustände einer Öl-Raffinerie in Abhängigkeit der relevanten Faktoren.

Flut	Spannung	Notstrom	Berechneter Zustand
			Ausfall-Zustand (Spannung)
X			Ausfall-Zustand (Flut)
	X		Regulärer Zustand
X	X		Ausfall-Zustand (Flut)
		X	Irregulärer Zustand (Notstrom)
X		X	Ausfall-Zustand (Flut)
	X	X	Regulärer Zustand
X	X	X	Ausfall-Zustand (Flut)

Tabelle 7.7.: Zustandstabelle Öl-Raffinerie

Krankenhäuser

Krankenhäuser brauchen Strom für den Betrieb medizinischer Geräte. Wird ein Krankenhaus überschwemmt, wird es funktionsunfähig und die Patienten müssen evakuiert werden. Tabelle 7.8 zeigt die berechneten Zustände eines Krankenhauses in Abhängigkeit der relevanten Faktoren.

Flut	Spannung	Notstrom	Berechneter Zustand
			Ausfall-Zustand (Spannung)
X			Ausfall-Zustand (Flut)
	X		Regulärer Zustand
X	X		Ausfall-Zustand (Flut)
		X	Irregulärer Zustand (Notstrom)
X		X	Ausfall-Zustand (Flut)
	X	X	Regulärer Zustand
X	X	X	Ausfall-Zustand (Flut)

Tabelle 7.8.: Zustandstabelle Krankenhaus

Pflegeheime

Auch Pflegeheime benötigen Strom für den Betrieb medizinischer Geräte. Die Bewohner eines Pflegeheimes werden über das Konzept eines Wohngebietes beschrieben. Tabelle 7.9 zeigt die berechneten Zustände eines Pflegeheimes in Abhängigkeit der relevanten Faktoren.

Spannung	Berechneter Zustand
	Ausfall-Zustand (Spannung)
X	Regulärer Zustand

Tabelle 7.9.: Zustandstabelle Pflegeheim

Wohngebiete

Vier Faktoren haben direkte Auswirkung auf die Bevölkerung. Wenn ein Wohngebiet überflutet wird, muss es evakuiert werden. Anwohner benötigen Trinkwasser. Steht kein Leitungswasser zur Verfügung sind Anwohner auf abgefülltes Wasser angewiesen. Wurde das Leitungswasser verschmutzt, so benötigen die Anwohner Kommunikationsmittel, um darüber informiert zu werden. Die nachfolgende Tabelle zeigt die berechneten Zustände eines Wohngebietes in Abhängigkeit der relevanten Faktoren.

Flut	Wasser	Wasser (Verschmutzt)	Kommunikation	Berechneter Zustand
				2
X				5
	X			1
X	X			5
		X		4
X		X		5
	X	X		4
X	X	X		5
			X	2
X			X	5
	X		X	1
X	X		X	5
		X	X	3
X		X	X	5
	X	X	X	3
X	X	X	X	5

Zustände: 1: Regulärer Zustand 2: Irregulärer Zustand (Kein Wasser)

3: Irregulärer Zustand (Verschmutztes Wasser) 4: Ausfall-Zustand (Verschmutztes Wasser)

5: Ausfall-Zustand (Flut)

Tabelle 7.10.: Zustandstabelle Wohngebiet

Wohngebiete unterhalb des Meeresspiegels benötigen Drainagepumpen, damit sie nicht überflutet werden. Tabelle 7.11 zeigt die berechneten Zustände eines Wohngebietes unter

Meeresniveau in Abhängigkeit der Senkung des Grundwasserspiegels durch Drainagepumpen.

Senkung Grundwasserspiegel	Berechneter Zustand
	Ausfall-Zustand (Senkung Grundwasserspiegel)
X	Regulärer Zustand

Tabelle 7.11.: Zustandstabelle Wohngebiet unter Meeresniveau

7.2. Beschreibung des Beispielszenarios

In diesem Abschnitt wird die Anreicherung des Beispielszenarios mit konkreten kritischen Infrastrukturen sowie die Definition von Ereignissen beschrieben. Hierbei wird nach dem, im Abschnitt [Lagebeurteilung kritischer Infrastrukturen](#) beschriebenen, Anwendungsfall der Lagebeurteilung mit vorhergehender Lagedarstellung vorgegangen.

7.2.1. Import kritischer Infrastrukturen

Das manuelle Positionieren kritischer Infrastruktur ist ein aufwändiger Prozess. Aus diesem Grund werden die kritischen Infrastrukturen für das Beispielszenario aus Open Data Quellen importiert.

Das Importieren aktueller Infrastrukturen für ein historisches Ereignis birgt die Gefahr, dass eine Infrastruktur, die zum Zeitpunkt des Ereignisses existierte heute nicht mehr vorhanden ist, oder dass neue Infrastrukturkomponenten gebaut wurden und daher zum Zeitpunkt des Ereignisses noch nicht bestand. Unter den realen Einsatzbedingungen des Informationssystems können diese Probleme nicht auftreten, sofern die Aktualität der verwendet Datenquellen sichergestellt ist.

Die Korrektheit der importierten Positionen wird mit Hilfe von Satellitenbildern von Google Maps überprüft. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Anzahl und die Quellen der importierten Infrastrukturkomponenten für das Beispielszenario.

Kritische Infrastruktur	Anzahl	Quelle
Kraftwerke	1	Open Street Map ¹
Umspannwerke	44	Open Street Map ¹
Wasseraufbereitungsanlagen	1	Wikimapia ²
Drainagepumpen	33	Wikimapia ²
Mobilfunkmasten	66	Cell Reception ³
Öl-Raffinerien	2	Wikimapia ²
Krankenhäuser	9	Wikimapia ²
Pflegeheime	1	Wikimapia ²

¹ <http://www.openstreetmap.de>

² <http://wikimapia.org>

³ <http://www.cellreception.com>

Tabelle 7.12.: Importierte kritische Infrastruktur

Energieversorgung: Bei dem importierten Kraftwerk handelt es sich um das Kraftwerk Michoud. Das zweite Kraftwerk von New Orleans wird durch Katrina zerstört und nicht wieder aufgebaut. Aus diesem Grund wird es manuell zum Beispielszenario hinzugefügt. Abbildung A.2 im Anhang dieser Arbeit zeigt das Stromnetz von New Orleans im Jahr 2008. Da das Kraftwerk Waterford vor Katrina aus Sicherheitsgründen heruntergefahren wird, wird New Orleans zum Großteil von seinen eigenen Kraftwerken versorgt. Die Versorgungsradien der Kraftwerke werden auf 30 Kilometer festgelegt und die Radien der Umspannwerke auf vier Kilometer, so dass sie das Stadtgebiet von New Orleans abdecken.

Da das Kraftwerk des Sewerage and Water Boards nicht zur öffentlichen Stromversorgung gehört, ist es in Open Street Map nicht verzeichnet. Die Position des Kraftwerks ist jedoch bei Wikimapia eingetragen und wird aus dieser Datenquelle zum Szenario hinzugefügt. Der Versorgungsradius dieses Kraftwerks wird auf 25 Kilometer festgelegt, so dass er die Drainagepumpen im Stadtgebiet abdeckt.

Wasseraufbereitung: Über Wikimapia wird die Carrollton Wasseraufbereitungsanlage in das Beispielszenario importiert, die einen Großteil des Trinkwassers von New Orleans aufbereitet. Der Versorgungsradius der Anlage wird auf 10 Kilometer festgelegt, so dass diese das Stadtgebiet abdeckt.

Wie im Beispielszenario beschrieben, verfügt die Carrollton Wasseraufbereitungsanlage über einen Notstrom-Generator, der im Falle eines Ausfalls der öffentlichen Stromversorgung den weiteren Betrieb der Anlage sicherstellt. Die Position des Notstrom-Generators der Wasseraufbereitungsanlage ist in Wikimapia eingetragen und wird von hier aus manuell

in das Beispielszenario übernommen. Der Versorgungsradius des Notstrom-Generators wird auf die Position der Carrollton Wasseraufbereitungsanlage eingestellt.

Drainagepumpen: Mit Hilfe von Wikimapia ist es möglich 33 Drainagepumpen in das Szenario zu importieren. Die Radien, in denen die Drainagepumpen für die Entwässerung der Stadt sorgen, wird auf vier Kilometer eingestellt. Auf diese Weise ist ein Großteil des Stadtgebietes durch die Operationsradien der Drainagepumpen abgedeckt.

Mobilfunkmasten: Die Positionen der Mobilfunkmasten im Stadtgebiet New Orleans werden aus Cell Reception importiert. Bei Cell Reception handelt es sich um eine Internetseite, in der die Positionen vieler Mobilfunkmasten aus den USA eingetragen sind. Der Senderadius von Mobilfunkmasten hängt von der Übertragungstechnik sowie der Umgebung ab. Für das Beispielszenario wird davon ausgegangen, dass die Mobilfunkmasten das Stadtgebiet von New Orleans abdecken. Aus diesem Grund wird der Senderadius auf sechs Kilometer festgelegt.

Treibstoffversorgung: Südwestlich von New Orleans befinden sich die Raffinerien Motiva Enterprises LLC und Valero Saint Charles, deren Positionen aus Wikimapia importiert werden. Beide Raffinerien besitzen keinen Notstrom-Generator. Die Versorgungsradien der Raffinerien werden mit 50 Kilometern so gewählt, dass sie das Stadtgebiet von New Orleans abdecken.

Krankenversorgung: Krankenhäuser und Pflegeheime werden nicht evakuiert. Die Position von Krankenhäusern und Pflegeheimen wird aus Wikimapia importiert.

Krankenhäuser haben einen eigenen Notstrom-Generator, weshalb für sie neben dem Krankenhaus-Konzept auch das Notstrom-Generator-Konzept gilt. Das Einzugsgebiet der Krankenhäuser wurde mit 10 Kilometern so gewählt, dass es das Stadtgebiet von New Orleans möglichst gut abdeckt. Das Versorgungsgebiet des Notstromgenerators wird so gewählt, dass es die Position des Krankenhauses abdeckt.

Pflegeheime besitzen keinen Notstrom-Generator. Sie besitzen neben dem Pflegeheim-Konzept zusätzlich das Wohnhaus-Konzept und das Konzept für Wohnhäuser unterhalb des Meeresspiegels. Pflegeheime stellen keine Outputs zur Verfügung, weshalb für sie kein Versorgungsgebiet festgelegt werden muss.

7.2.2. Eingabe von Ereignissen

Wie im Beispielszenario beschrieben, verursacht Katrina zwei Arten von Ereignissen: starken Sturm und Überflutung.

Der Wirkungsbereich des Sturms wird auf Basis von (Senate, 2006, S.4) in das Informationssystem eingegeben. Als Startzeitpunkt wird der 28.08.2005 angenommen und als Ende der 01.09.2005. Abbildung 7.12 zeigt den verwendeten Wirkungsbereich für den Sturm von Katrina.

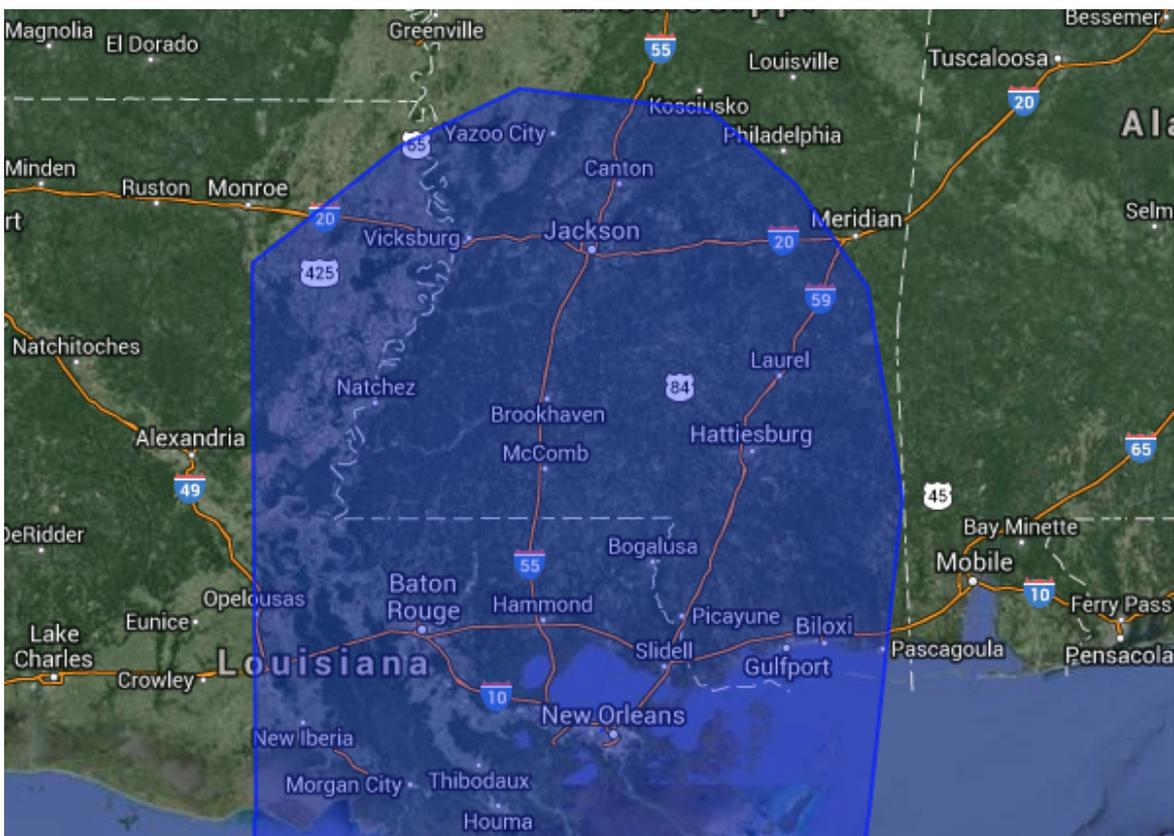


Abbildung 7.12.: Wirkungsbereich Sturm

Die von Katrina ausgelöste Überflutung wird in zwei Ereignisse unterteilt. Zum einen die direkte Überflutung von New Orleans direkt nach Landfall, zum anderen die allmähliche Überflutung des Stadtzentrums durch die gebrochenen Flutmauern zum See Pontchartrain. Abbildung 7.13 veranschaulicht die Ausmaße der Überflutung von New Orleans.

Die gelb umrandeten Bereiche kennzeichnen das Gebiet, welches innerhalb weniger Stunden nach Landfall von Katrina überflutet wird, die blau umrandeten Bereiche kennzeichnen

die Stadtteile, welche in den nachfolgenden Tagen überflutet werden. Der Beginn des ersten Überflutungsereignisses wird auf den 28.08.2005 und der des Zweiten auf den 01.09.2005 festgelegt. Das Ende der Überflutung wird nicht näher spezifiziert.

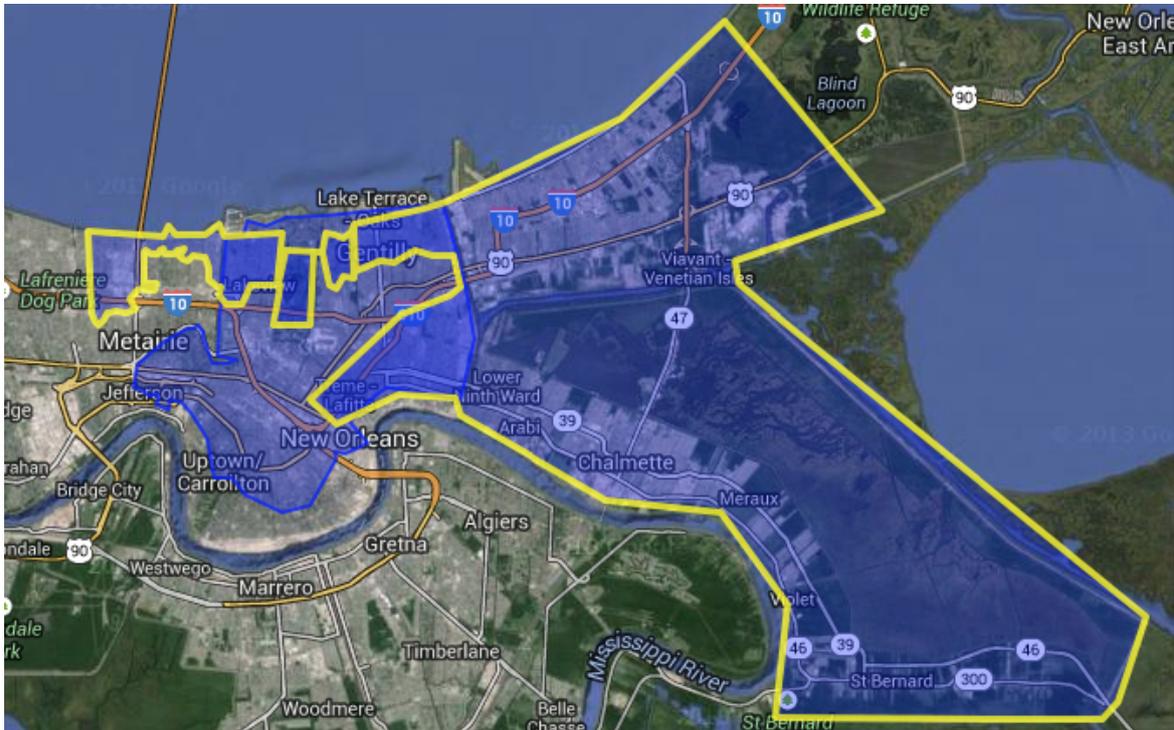


Abbildung 7.13.: Wirkungsbereich Überflutung

7.3. Semantische Abhängigkeitsanalyse des Beispielszenarios

Auf Basis der im vorherigen Abschnitt beschriebenen Daten wird eine Abhängigkeitsanalyse der kritischen Infrastrukturen durchgeführt. Hierfür werden die Inferenzregeln verwendet, die im Abschnitt 5.1.2 definiert wurden. Abbildung 7.14 zeigt das Ergebnis dieser Analyse.

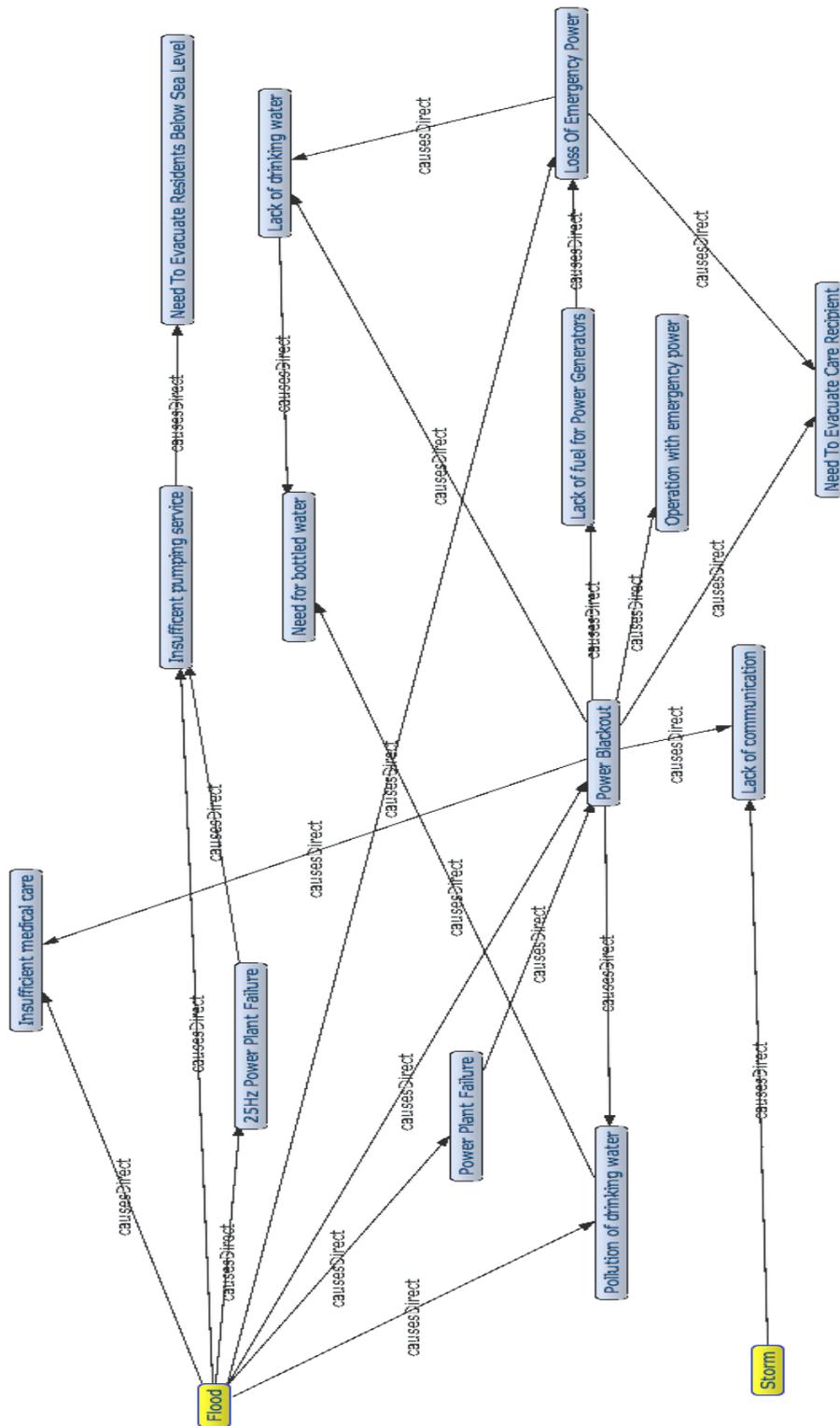


Abbildung 7.14.: Ergebnis der Abhängigkeitsanalyse der kritischen Infrastrukturen

Auf der linken Seite des Graphen sieht man die eingegebenen Überflutungs- und Sturm-Ereignisse. Der Graph zeigt ausgehend von diesen Ereignissen, mit welchen Gefahren zu rechnen ist. Die Überflutung führt zu der Gefahr einer unzureichenden medizinischen Versorgung, da Krankenhäuser überflutet werden. Zudem führt die Flut zu einem Ausfall der Kraftwerke. Der Stromausfall ist sowohl eine direkte Gefahr der Flut durch die Überflutung von Umspannwerken, als auch eine bedingte Gefahr infolge des Ausfalls der Kraftwerke. Der Stromausfall führt wiederum zu der Gefahr einer unzureichenden medizinischen Versorgung, da Krankenhäuser betroffen sind. Der Stromausfall führt im Zusammenspiel mit der Gefahr des Verlustes des Notstroms zur Notwendigkeit Patienten zu evakuieren.

Die Gefahr des Verlustes des Notstroms kann zwei Gründe haben. Zum einen die Überflutung eines Notstrom-Generators, zum anderen die Knappheit an Treibstoff, die durch den Ausfall der Raffinerien auch auf den Stromausfall zurückzuführen ist. Der Verlust des Notstroms bei der Wasseraufbereitungsanlage kann zu einem Mangel an Trinkwasser und so zum erhöhten Bedarf an abgefülltem Wasser führen. Die Überflutung der Wasseraufbereitungsanlage sowie der Stromausfall können zu einer Verschmutzung des Trinkwassers führen. Es wird hier jedoch keine Gefahr für die Bevölkerung ermittelt, da das Wasser auf Grund des Ausfalls des Notstroms der Wasseraufbereitungsanlage die Bevölkerung nicht erreichen kann.

Der Ausfall des 25 Hz Kraftwerks führt zu einem Ausfall der Drainagepumpen, was die Gefahr einer unzureichenden Drainage bedingt und damit zu der Notwendigkeit der Evakuierung des betroffenen Gebietes führen kann. Der Sturm sowie der Stromausfall führen außerdem zur Gefahr einer unzureichenden Kommunikation.

Für jede Kausalität kann im Prototypen eine Erklärung angezeigt werden, die erläutert, wie das Informationssystem die jeweilige Gefahr hergeleitet hat. [Abbildung 7.15](#) erläutert, wieso das Überflutungsereignis zum Ausfall des Kraftwerkes Michoud führen kann.

Die erste Phase der Überflutung ereignet sich an der Position des Kraftwerkes Michoud. Das Kraftwerk Michoud stellt im Normalbetrieb Transportspannung zur Verfügung. Durch die Überflutung geht das Kraftwerk in den Überflutungs-Ausfall-Zustand über und führt so zum Ausfall des Kraftwerkes.

[Abbildung 7.16](#) erklärt hingegen, wieso der Ausfall des Notstroms zu einem Mangel an Trinkwasser führen kann. Die spatiale Position der ermittelten Gefahr des Verlustes des Notfallstroms bildet das Versorgungsgebiet des Notstrom-Generators des Sewerage and Water Boards. In diesem befindet sich die Carrollton Wasseraufbereitungsanlage und wird im regulären Betriebszustand des Notstromgenerators mit Notstrom versorgt. Die Carrollton Wasseraufbereitungsanlage stellt im Normalbetrieb sauberes Trinkwasser zur Verfügung. Durch den Verlust an Notstrom geht es jedoch in den Strom-Ausfall-Zustand über und kann kein Trinkwasser mehr zur Verfügung stellen. Dies führt somit zu der Gefahr eines Mangels an Trinkwasser.

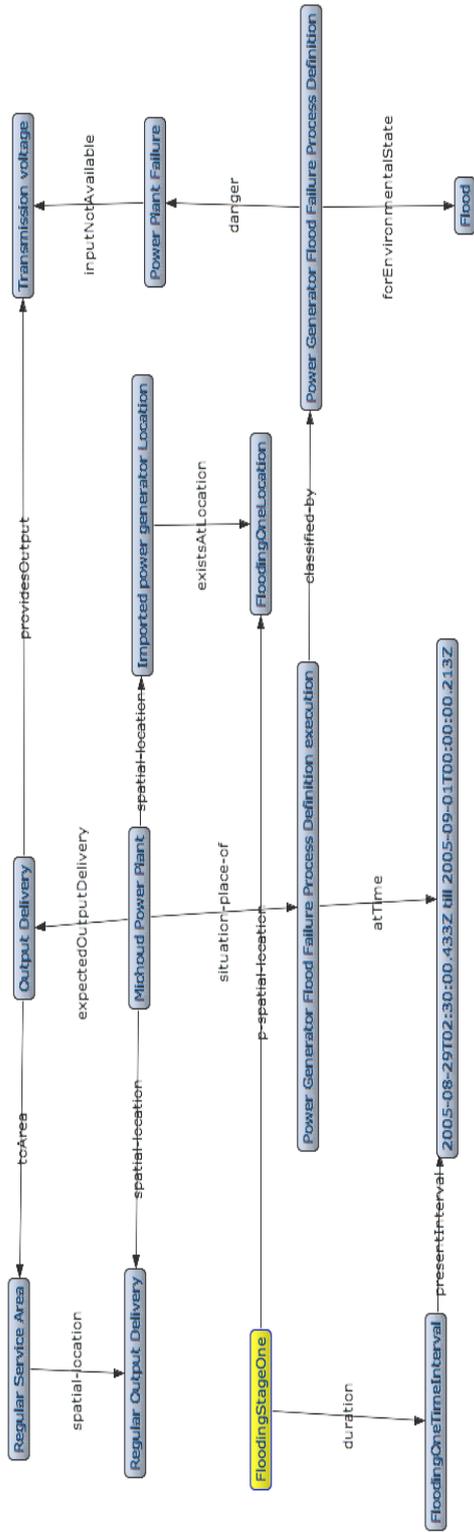


Abbildung 7.15.: Erläuterung für den Ausfall des Kraftwerks Michoud

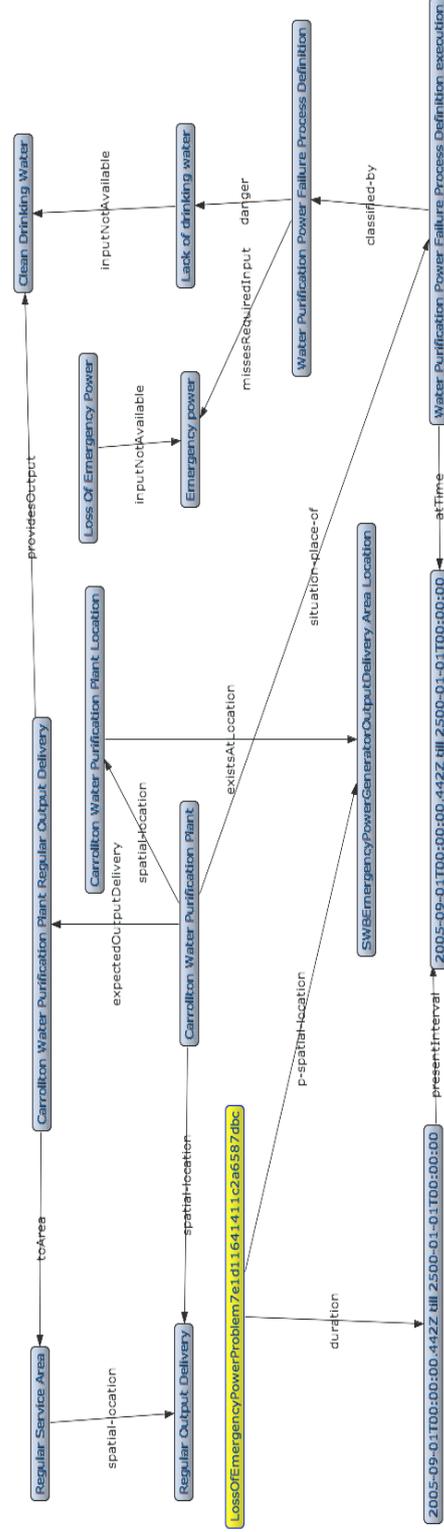


Abbildung 7.16.: Erläuterung für den Mangel an Trinkwasser

7.4. Abgleich der Analyseergebnisse mit den Ereignissen bei Katrina

In diesem Abschnitt sollen die [Auswirkungen auf die kritische Infrastruktur](#) von Katrina mit den ermittelten Gefahren bei der Analyse der kritischen Infrastruktur abgeglichen werden. Tabelle 7.13 stellt die Auswirkungen von Katrina auf die kritische Infrastruktur den durch den Prototypen ermittelten Gefahren gegenüber.

Kritische Infrastruktur	Hurrikan Katrina	Ermittelte Gefahren
Stromversorgung	Die Kraftwerke Michoud und Patterson fallen auf Grund von Überflutung komplett aus. Umspannwerke im Stadtgebiet werden überflutet und fallen aus.	Für die Kraftwerke Michoud und Patterson wurde die Gefahr des Ausfalls auf Grund von Überflutung ermittelt. Für Umspannwerke im überfluteten Gebiet wurde ebenfalls die Gefahr eines Ausfalls auf Grund von Überflutung ermittelt. Umspannwerke außerhalb des überfluteten Gebiets fallen auf Grund mangelnder Transportspannung durch die Kraftwerke aus.
Drainagepumpen	Auf Grund von Überflutung fällt das 25 Hz Kraftwerk für die Drainagepumpen aus. Der Kraftwerksausfall sowie die Überflutung der Pumpen führen zu deren Ausfall.	Auch der Ausfall des 25 Hz Kraftwerks für die Drainagepumpen wurde als Gefahr durch den Prototypen identifiziert. Dieser Stromausfall führt dazu, dass die Pumpen, welche zuvor noch nicht durch die Überflutung funktionsunfähig gemacht wurden, ebenfalls die Arbeit einstellen.

Treibstoffversorgung	Der Transport von Benzin auf zwei Hauptleitungen der Colonial Pipeline und der Plantation Pipeline bricht zusammen, da wichtige Pumpstationen ausfallen. Die Motiva Enterprises LLC und Valero Saint Charles Raffinerie in Norco müssen auf Grund des Stromausfalls geschlossen werden.	Die Gefahr des Ausfalls von Pumpstationen konnte durch den Prototypen nicht ermittelt werden, da ihre Position nicht aus Open Data Quellen importiert werden konnte. Die Gefahr eines Mangels an Treibstoff konnte jedoch durch den Ausfall der zwei Raffinerien ermittelt werden. Dies Deckt sich mit den Ereignissen von Hurrikan Katrina.
Kommunikation	Vermittlungsstellen für Festnetzleitungen und auch viele Landleitungen sind überflutet und lassen das Festnetz zusammenbrechen. Auch der Mobilfunk wird von Katrina funktionsunfähig gemacht, da auch hier Vermittlungsstellen überflutet und Mobilfunkmasten durch den Sturm zerstört werden.	Die Auswirkungen von Katrina auf das Festnetz konnten durch den Prototypen nicht ermittelt werden, da die Positionen von Vermittlungsstellen nicht aus Open Data Quellen importiert werden konnten. Die Gefahren von Sturm und Stromausfall für das Mobilfunknetz konnten jedoch identifiziert werden.
Wasserversorgung	Der Ausfall der Stromversorgung in der Stadt führt dazu, dass die Trinkwasseraufbereitungsanlage mit Hilfe seines Notstromgenerators betrieben werden muss. Die Überflutung der Wasseraufbereitungsanlage führt zum Ausfall des Notstromgenerators und macht die Anlage bis zur Wiederherstellung der öffentlichen Stromversorgung unbenutzbar.	Mit Hilfe des Prototypen wurde ermittelt, dass die erste Phase der Überflutung die Gefahr eines Stromausfalls birgt und hiervon auch die Wasseraufbereitungsanlage betroffen ist. Diese wird darauf hin mit Notstrom betrieben, bis der Generator in der zweiten Phase überflutet wird. Die ermittelten Gefahren decken sich daher mit den Ereignissen.

Krankenhäuser / Pflegeheime	Krankenhäuser werden nicht evakuiert, müssen jedoch nach Landfall ihren Betrieb auf Grund von Ausfällen der Notstromversorgung einstellen. Ein Grund hierfür sind die Treibstoffknappheit oder die Überflutung der Krankenhäuser. Aus diesen Gründen müssen viele der Krankenhäuser nach Landfall von Katrina evakuiert werden. Die Pflegeheime sind wie die Krankenhäuser von der Evakuierung der Stadt ausgeschlossen und bleiben geöffnet. Nach Landfall werden auch viele Pflegeheime überflutet und müssen evakuiert werden.	Es wurde ermittelt, dass Krankenhäuser nach dem Ausfall der öffentlichen Stromversorgung auf Notstrom angewiesen sind. Der Ausfall der Raffinerien führt zu einer Knappheit an Treibstoff, was die Gefahr eines Ausfalls der Notstromversorgung birgt. Auch die Gefahr der Überflutung der Krankenhäuser wurde identifiziert. Es konnte nur ein Pflegeheim auf Basis der Open Data Quellen importiert werden. Dieses liegt außerhalb des überfluteten Stadtzentrums. Es ist jedoch von einem Ausfall des Stroms betroffen und von der öffentlichen Wasserversorgung abgeschnitten. Diese Ergebnisse decken sich mit den Ereignissen von Katrina.
--------------------------------	---	---

Tabelle 7.13.: Gegenüberstellung der Ereignisse

Die Gegenüberstellung der Auswirkungen von Hurrikan Katrina mit den ermittelten Gefahren verdeutlichen, dass sich diese zum Großteil decken. Der vorgestellte Modellansatz kann aus diesem Grund zur Prognose von Gefahren auf der Basis von Lagedaten verwendet werden. Im folgenden Kapitel wird dieses Ergebnis im Hinblick auf die einleitend aufgestellten Hypothesen diskutiert.

8. Diskussion & Ausblick

In diesem Kapitel sollen die Ergebnisse des letzten Kapitels im Hinblick auf die in Abschnitt 1.1 aufgestellten Hypothesen diskutiert werden. Im Anschluss werden einige Probleme aufgeführt, die während der Arbeit mit dem Prototypen identifiziert wurden. Abschließend werden die Erkenntnisse der Arbeit zusammengefasst und es wird ein Ausblick auf mögliche Themen zur Weiterentwicklung des Prototypen gegeben, welche im Rahmen zukünftigen Arbeiten untersucht werden könnten.

8.1. Diskussion der Ergebnisse im Hinblick auf die aufgestellten Hypothesen

Im letzten Kapitel wurde erläutert, wie der im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Modellansatz zur Beschreibung der kritischen Infrastruktur einer Region verwendet werden kann. Auf Grundlage der semantischen Beschreibung der kritischen Infrastruktur und der Schadensereignisse war es möglich, einen Großteil der Gefahren von Überflutung und Sturm auf die kritische Infrastruktur von New Orleans abzuleiten. Im Folgenden sollen die Hypothesen aus Abschnitt 1.1 im Hinblick auf diese Ergebnisse diskutiert werden.

In **Hypothese 1** wird die Vermutung aufgestellt, dass sich die unmittelbaren Folgen eines Ereignisses auf eine Infrastrukturkomponente kategorisieren lassen und auf Infrastruktur-Konzepte abstrahiert werden können. Zudem wird vermutet, dass die infrastrukturbedingten Gefahren einer Schadenslage von den Infrastruktur-Konzepten im Schadensgebiet abhängig sind. Zur Überprüfung dieser Hypothese wurde ein Modellansatz entwickelt, mit dessen Hilfe eine Menge von konkreten Infrastrukturkomponenten durch ein Infrastruktur-Konzept beschrieben werden kann. Die Verwundbarkeit einzelner Infrastrukturkomponenten, im Bezug auf Umweltereignisse, wird durch Infrastruktur-Konzepte abstrahiert. Auf Basis von Infrastruktur-Konzepten für ausgewählte Klassen von Infrastrukturkomponenten wurde für das Beispielszenario Hurrikan Katrina gezeigt, wie sich die Zustände konkreter Infrastrukturkomponenten auf Grundlage ihrer Konzepte bestimmen lassen. Eine Abstraktion der Eigenschaften von konkreten Infrastrukturkomponenten auf Infrastruktur-Konzepte ist demnach möglich. Zudem konnten auf Basis der Infrastruktur-Konzepte im Schadensgebiet Gefahren

für konkrete Infrastrukturkomponenten abgeleitet werden. Die Vermutung von Hypothese 1 wurde daher bestätigt.

Hypothese 2 stellt die Vermutung auf, dass sich durch die Abstraktion konkreter Infrastrukturkomponenten auf Infrastruktur-Konzepte zudem mittelbare Gefahren, auf andere Infrastrukturkomponenten ableiten lassen. Für die Beschreibung dieser kaskadierenden Effekte müssen die Abhängigkeiten der Infrastrukturen untereinander modelliert werden. Diese werden über die benötigten Inputs beziehungsweise die zur Verfügung gestellten Outputs der Infrastrukturkomponenten abgebildet. Die Bereiche, in welchen kritische Infrastrukturen ihre Outputs zur Verfügung stellen, wurde für das Beispielszenario zum größten Teil über Versorgungsradien abstrahiert. Die auf diese Weise ermittelten kaskadierenden Effekte decken sich mit den Untersuchungsergebnissen des Senats (vgl. [Senate, 2006](#)), welche im Beispielszenario näher beschrieben wurden. Um beurteilen zu können, ob dieses Vorgehen auch für beliebige andere Szenarien und kritische Infrastrukturen brauchbare Ergebnisse liefert, sind weitere Untersuchungen notwendig, die im Rahmen dieser Arbeit nicht geleistet werden können. Die Ermittlung kaskadierender Effekte mit dem vorgestellten Modellierungsansatz ist jedoch grundsätzlich möglich und bestätigt damit die Vermutung aus Hypothese 2.

In **Hypothese 3** wird die Vermutung aufgestellt, dass sich das Wissen über die Auswirkungen von Ereignissen auf Infrastrukturen formalisieren lässt, so dass dieses im Ereignisfall vom Informationssystem zur Ermittlung potenzieller Gefahren verwendet werden kann. Der vorgestellte Modellierungsansatz erlaubt die Beschreibung von Gefahren, welche von einer Infrastrukturkomponente in einem irregulären oder Fehlerzustand ausgeht. Auf diese Weise ist es möglich Erfahrungen über Gefahren, die von einem Betriebszustand ausgehen, zu beschreiben. Im letzten Kapitel wurde die Beschreibung von Gefahren am Beispielszenario exemplarisch erläutert und es wurde demonstriert, welche potentiellen Gefahren auf Basis von Lagedaten abgeleitet werden können. Die Formalisierung von Wissen über die Gefahren von Ereignissen für kritische Infrastrukturen ist möglich und es lassen sich auf Basis dieses Wissens potentielle Gefahren bestimmen. Auch die Vermutung aus Hypothese 3 wurde hierdurch bestätigt.

8.2. Offene Probleme

In diesem Abschnitt sollen einige Probleme erläutert werden, die während der Realisierung des Prototypen identifiziert wurden.

Reifegrad von Technologien für die Arbeit mit semantischen Daten

Während der Realisierung des Prototypen wurden zahlreiche Fehler in den verwendeten Technologien aufgedeckt und mussten behoben oder umgangen werden. Auf einige dieser Fehler wurden im Kapitel [Realisierung](#) näher eingegangen. Semantische Technologien werden bis heute in erster Linie in der Forschung eingesetzt und daher nicht so intensiv getestet und weiterentwickelt, wie Technologien für den produktiven Einsatz in größeren kommerziellen Produkten.

Performanz des Prototypen bei großer Wissensbasis

Für die Arbeit mit semantischen Triple Stores existieren keine Technologien, wie etwa Hibernate, die den Entwickler bei der Realisierung einer performanten Datenzugriffsschicht, durch beispielsweise Caching-Strategien, unterstützen. Insbesondere wenn es darum geht eine große Menge an Daten abzufragen und anzuzeigen führt die Verwendung von Proxy-objekten, die direkt auf den Triple Store zugreifen, zu hohen Latenzen beim Datenzugriff. Ein Lösungsansatz für dieses Problem könnte beispielsweise das SPARQL Query Caching anbieten (vgl. [Martin u. a., 2010](#)).

Eine weitere Optimierungsmöglichkeit birgt die Abfrage-Engine des Tripel-Stores. Die temporale Inferenz des Prototypen erfordert die Berechnung von Betriebszuständen für jedes Basisintervall. Dies führt zu Performanceeinbrüchen bei einer großen Anzahl an Ereignissen. Eine Optimierung der Abfrage-Engine des Triple Stores für die Zusammenarbeit mit der SPIN Inferenz-Engine kann zu starken Performanceverbesserungen bei der Abhängigkeitsanalyse führen.

8.3. Zusammenfassung der Erkenntnisse

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Modellansatz für die Analyse von Abhängigkeiten zwischen kritischen Infrastrukturen vorgestellt. Auf Grund seines vergleichsweise niedrigen Modellierungsaufwand kommt er auch für den Einsatz in Krisenstäben in Frage. Die Komplexität bei der Modellierung konnte durch die Abstraktion konkreter Komponenten kritischer Infrastrukturen auf Infrastruktur-Konzepten reduziert werden. Auf diese Weise ist es möglich eine Wissensbasis für Infrastruktur-Konzepte anzulegen, welche wiederverwendet werden können. Dies ermöglicht es die beschriebenen Eigenschaften der Infrastruktur-Konzepte während Krisensituationen auf konkrete Infrastrukturkomponenten abzubilden. Der Import der

Positionen kritischer Infrastrukturkomponenten aus Open Data Quellen kann den Modellierungsaufwand zusätzlich verringern. Hierdurch kann die kritische Infrastruktur einer Region mit vergleichsweise wenig Aufwand beschrieben werden. Auf Grund des hohen Abstraktionsgrades des Modellansatzes sind keine detaillierten Aussagen über die Prozesse innerhalb von kritischen Infrastrukturen möglich. Es lassen sich jedoch potentielle Gefahren von Schadensereignissen für die kritischen Infrastrukturen ableiten. Das Wissen über diese Gefahren kann dabei helfen das Situationsbewusstsein von Krisenstäben zu steigern und kann so bei der Beurteilung von Schadenslagen behilflich sein.

8.4. Ausblick

Im letzten Abschnitt dieser Arbeit sollen einige Themen aufgezeigt werden, welche im Rahmen dieser Arbeit nicht behandelt werden konnten, sich jedoch für eine nähere Untersuchung in zukünftigen Arbeiten anbieten.

Praxistest des Informationssystems im Krisenstab

Eine erste Einschätzung der Akademie für Krisenmanagement, Notfallplanung und Zivilschutz (AKNZ) hat ergeben, dass der in dieser Arbeit vorgestellte Ansatz zur Analyse kritischer Infrastrukturen praxistauglich ist und eine sinnvolle Ergänzung der existierenden Informationsquellen eines Krisenstabes darstellen kann. Als nächster Schritt bei der Weiterentwicklung des Prototypen bietet sich ein Praxistest im Krisenstab an, um diese Einschätzung zu bestätigen und Verbesserungsvorschläge zur Benutzbarkeit des Informationssystems zu erhalten.

Weiterentwicklung der Ontologie

Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Ontologie für die Beschreibung der Abhängigkeiten zwischen kritischen Infrastrukturen wurde auf Basis von Grundlagen über kritische Infrastrukturen und Best Practices im Bereich der semantischen Modellierung entworfen. Sie dient lediglich als Beispiel zur Demonstration der Funktionalität einer semantischen Abhängigkeitsanalyse. Die Entwicklung von Domänen-Ontologien ist ein evolutionärer Prozess, welcher in mehreren Iterationen durchgeführt wird. Auf diese Weise wird die Domänen-Ontologie nach und nach an die Anforderungen der Domänenexperten angepasst. Das entwickelte semantische Modell kann als Ausgangspunkt für eine Ontologie zur Beschreibung der Abhängigkeiten kritischer Infrastrukturen im Katastrophenschutz verwendet werden. Eine Weiterentwicklung dieser Ontologie muss jedoch in zukünftigen Arbeiten erfolgen.

Domänenspezifische Sprache zur Formulierung von Regeln

Inferenzregeln und Konsistenzbedingungen wurden im Rahmen dieser Arbeit über Prädikatenlogik beschrieben und dann manuell in die SPARQL Inferencing Notation übersetzt. Eine Automatisierung dieses Prozesses wäre eine hilfreiche Weiterentwicklung. Hierzu könnte

eine, an die Prädikatenlogik angelehnte, Domänenspezifische Sprache entwickelt werden. Dies würde es ermöglichen eine Beschreibung automatisiert in die SPARQL Inferencing Notation zu transformieren.

Modellierung von Puffern für materielle Abhängigkeiten zwischen Infrastrukturkomponenten

Im vorgestellten Modellansatz hat der Ausfall einer Infrastrukturkomponente unmittelbare Auswirkungen auf andere Komponenten. Für die Identifizierung von Gefahren ist dies eine zulässige Vereinfachung, da die Gefahr für den Mangel einer Ressource direkt bei Ausfall der Versorgung entsteht. Für die priorisierte Deeskalation einer Krise können Informationen über die Puffergrößen jedoch einen entscheidenden Hinweis geben. Die Integration von Puffern für Ressourcen ist daher ein Thema, das bei der Weiterentwicklung des Prototypen in zukünftigen Arbeiten adressiert werden sollte.

Überprüfung importierter Infrastrukturkomponenten

Im Rahmen dieser Arbeit wurde erläutert, wie der Import von Infrastrukturkomponenten den Aufwand bei der Modellierung der kritischen Infrastruktur einer Region verringern kann. Die Überprüfung der importierten Daten wurde für das Beispielszenario manuell auf Basis von Satellitenbildern durchgeführt. In zukünftigen Arbeiten könnte die Unterstützung dieses Überprüfungsschrittes durch einen expliziten Prozess untersucht werden. Es wäre zudem denkbar charakteristische Formen von Infrastrukturkomponenten, wie beispielsweise Umspann- oder Wasserwerke, durch automatisierte Bilderkennung zu identifizieren. Auch die Einstufung der Zuverlässigkeit und Glaubwürdigkeit einzelner Datenquellen könnte hilfreich sein.

Ein weiterer Punkt, der im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht werden konnte, besteht in der Integration äquivalenter Informationen aus unterschiedlichen Datenquellen. Ist eine konkrete Infrastrukturkomponente in mehreren Open Data Quellen verzeichnet, könnte dies als ein Indiz für eine höhere Zuverlässigkeit der Information verwendet werden.

Integration weiterer Informationsquellen

Der entwickelte Prototyp verwendet Open Data Quellen ausschließlich für den Import von Informationen über Infrastrukturkomponenten. Eine Anbindung von zusätzlichen Informationsquellen könnte hilfreiche Informationen für die Lagebeurteilung liefern. So könnte beispielsweise durch die Anbindung einer Datenquelle für die Abfrage von Populationsinformationen durch das Informationssystem eine Einschätzung über die Anzahl von Menschen / Haushalten gegeben werden, die durch den Ausfall einer Infrastrukturkomponente betroffen sein könnten.

A. Abbildungen

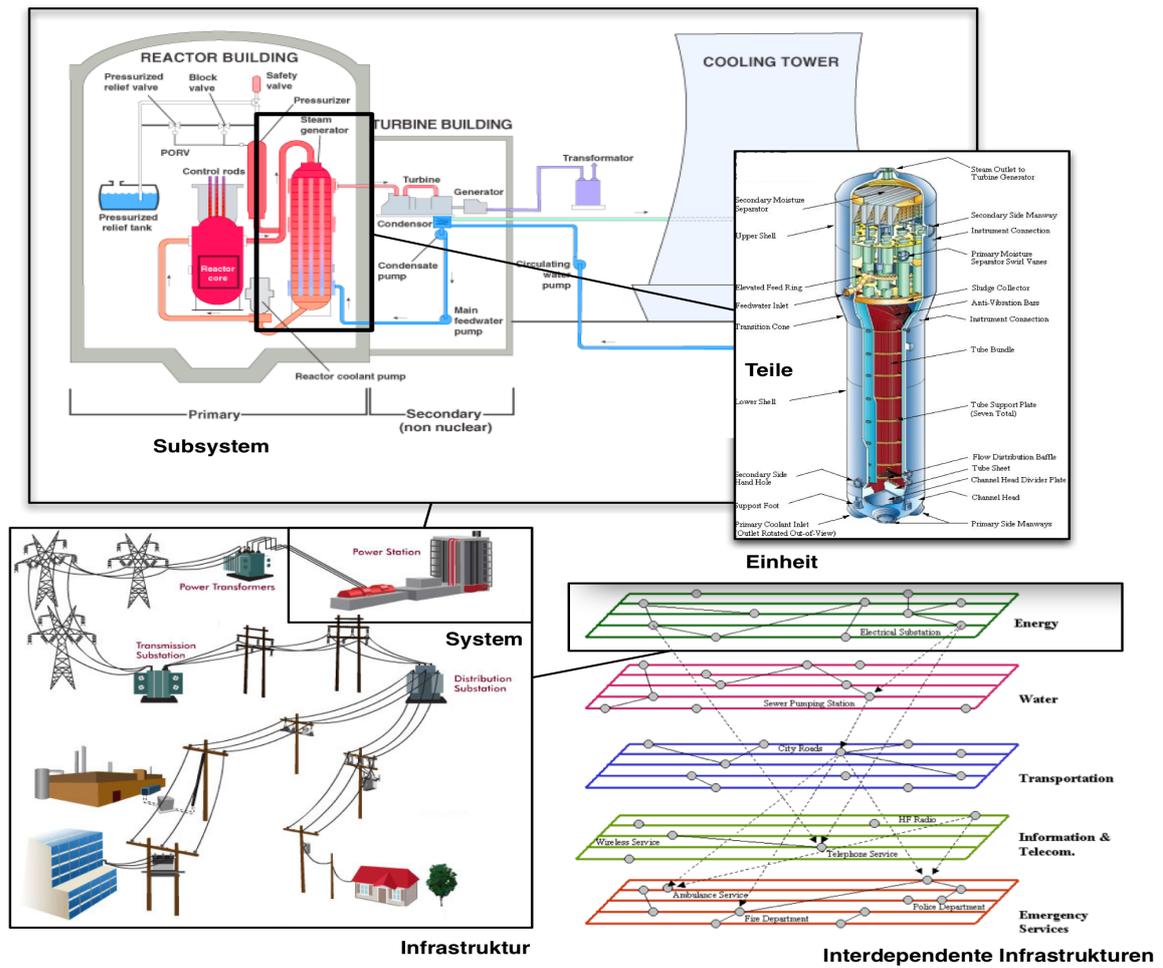


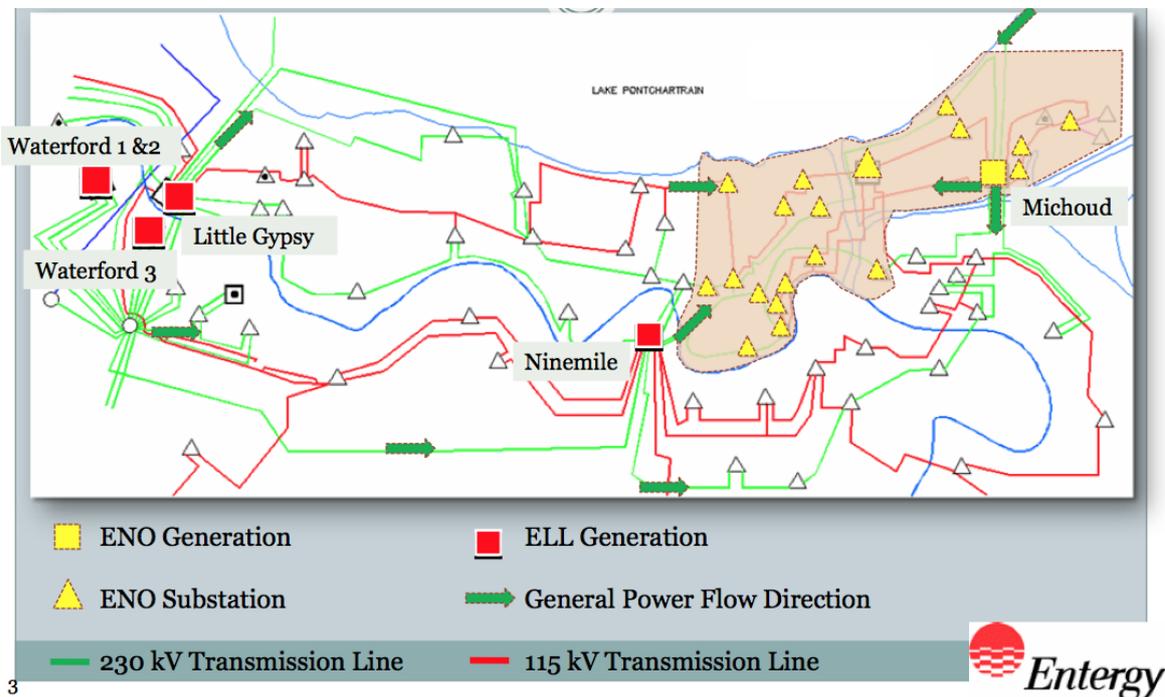
Abbildung A.1.: Komponenten kritischer Infrastrukturen

Quellen: Pederson u. a. (2006)

<http://www.nrc.gov>

<http://www.southerncompany.com>

<http://kolkata.olx.in>



3

Abbildung A.2.: New Orleans Stromnetz
 Quelle: <http://www.entergy-neworleans.com>

B. Benutzeroberfläche

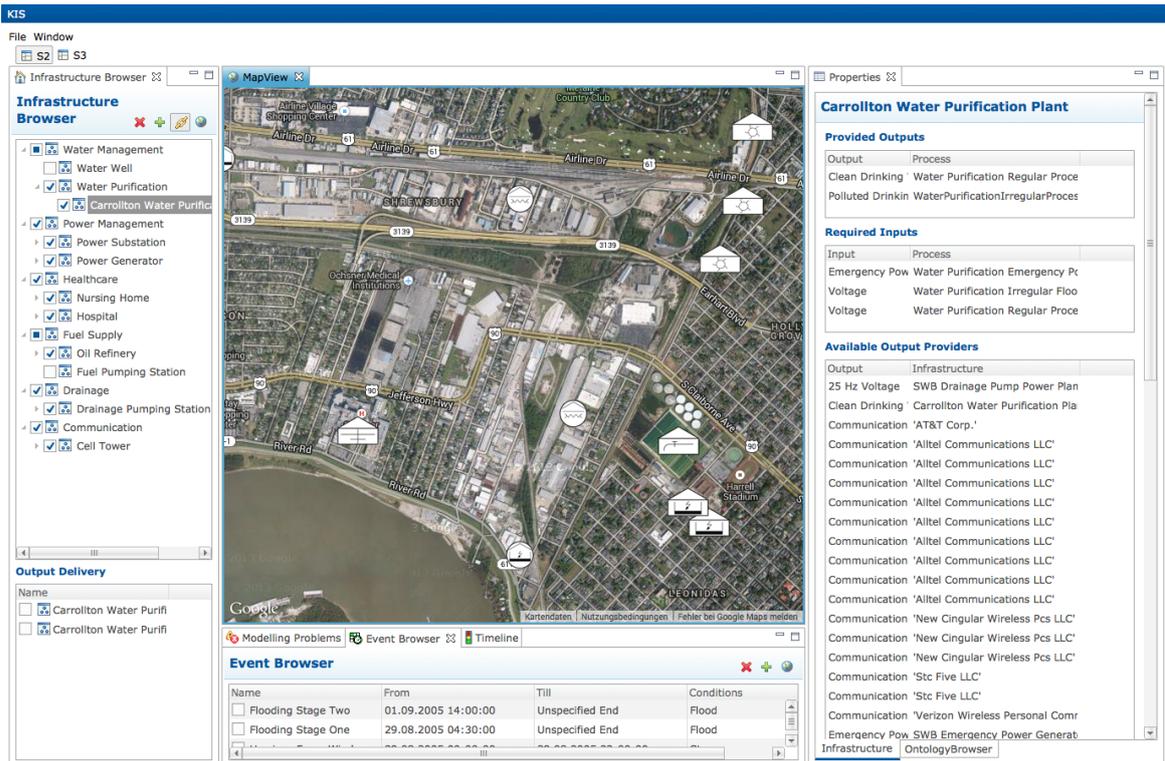


Abbildung B.1.: Benutzeroberfläche zur Lagedarstellung

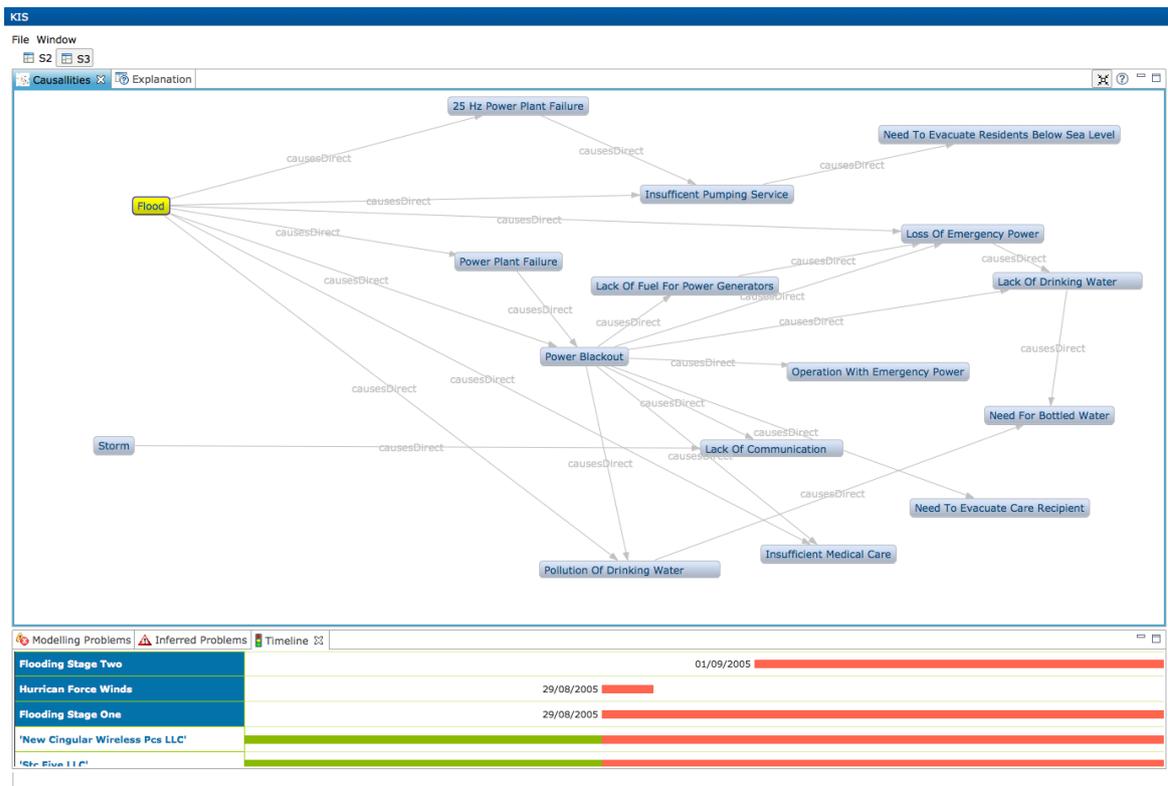


Abbildung B.2.: Benutzeroberfläche zur Lagebeurteilung

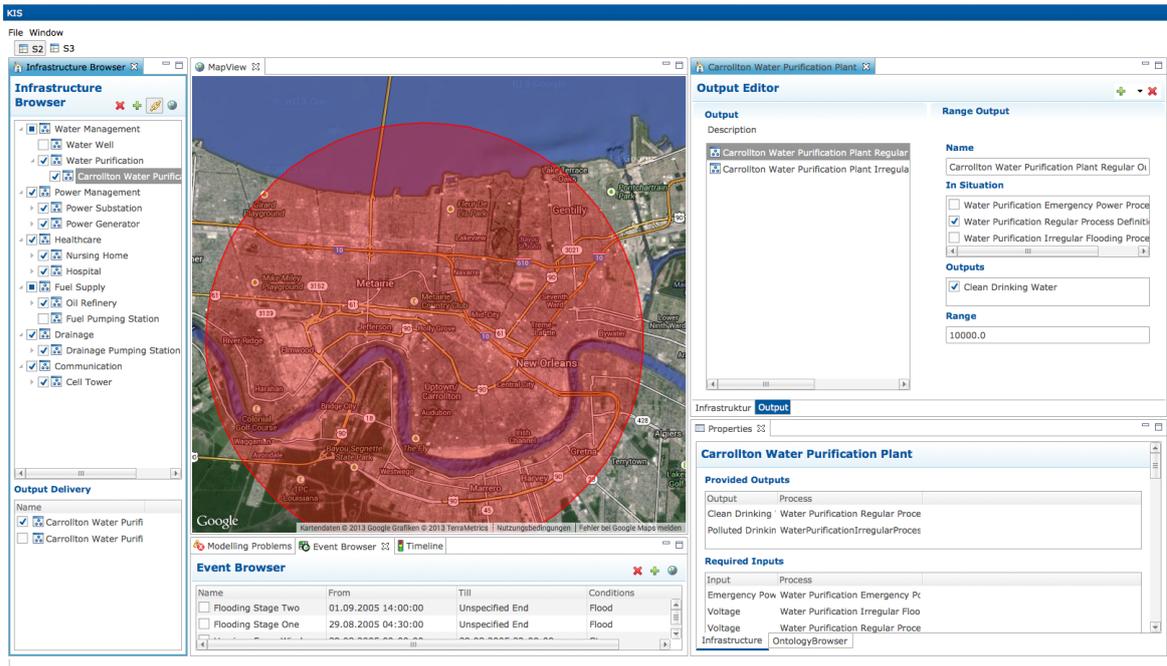


Abbildung B.3.: Benutzeroberfläche mit Editor zur Eingabe von Versorgungsbereichen

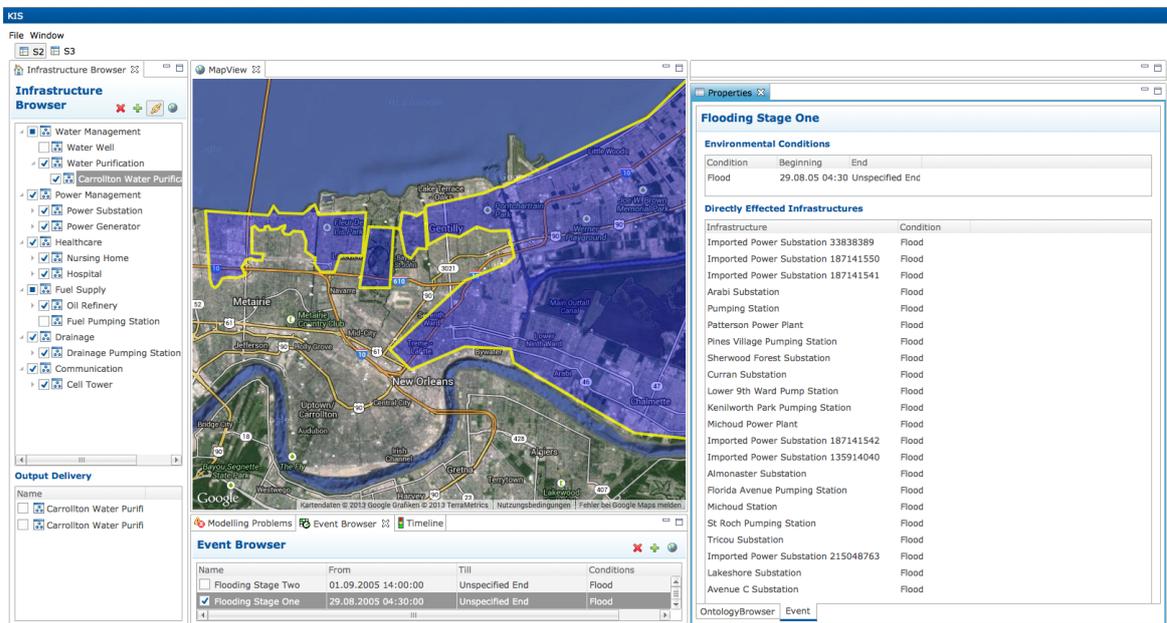


Abbildung B.4.: Benutzeroberfläche mit Ansicht zur Analyse von Schadensereignissen

C. Inhalt der DVD

Dieser Arbeit liegt eine DVD mit der folgenden Struktur bei:

- **Quellcode**/ Der Quellcode des entwickelten Prototypen.
- **Release**/ Die Binärdistributionen des Prototypen.
- **Szenario**/ Die ontologische Beschreibung des New Orleans Szenarios.

Glossar

Basisintervall Zeitintervall, das sich nicht mit anderen Zeitintervallen überschneidet.

Betriebszustand Funktionaler Zustand in dem sich eine Infrastrukturkomponente zu einem definierten Zeitpunkt befindet. Betriebszustände werden durch Prozessdefinitionen beschrieben.

DOLCE Grundlagenontologie, die grundlegende Begriffe bezüglich Objekten, Ereignissen, Eigenschaften und ihren Zusammenhängen definiert.

GeoRSS Ontologie zur Beschreibung geospatialer Objekte.

Infrastruktur-Konzept Klasse von Infrastrukturkomponenten, die durch ihre Funktion und ihre Anfälligkeit gegenüber Umweltereignissen charakterisiert ist. Ein Infrastruktur-Konzept besteht aus Prozessdefinitionen für jeden möglichen Betriebszustand.

Infrastrukturkomponente Teil einer kritischen Infrastruktur. Im Kontext dieser Arbeit sind Infrastrukturkomponenten nach der Klassifikation von [Rinaldi u. a. \(2001\)](#) Systeme (beispielsweise Kraftwerke) oder Subsysteme (beispielsweise Notstromgeneratoren).

OGC-Extended Ontologie zur Beschreibung von Relationen zwischen geometrischen Figuren.

Output-Auslieferung Versorgung eines definierten Gebietes durch eine Infrastrukturkomponente mit einem oder mehreren Outputs. Es wird zwischen Bereichs- und Reichweiten-Output-Auslieferungen unterschieden. Eine Reichweiten-Output-Auslieferung stellt den Output einer Infrastrukturkomponente in einem kreisförmigen Bereich um sie herum zur Verfügung. Bei einer Bereichs-Output-Auslieferung wird der Output einer Infrastrukturkomponente in einem beliebigen geografischen Bereich zur Verfügung gestellt.

OWL Web Ontology Language. Eine Erweiterung von RDF zur Erstellung von Ontologien.

OWL-Time Ontologie für die semantische Beschreibung von Zeitpunkten, Intervallen und Relationen zwischen ihnen.

- Parliament** Open Source Implementierung eines Triple Stores mit spatialem und temporalem Index.
- Prozessausführung** Situation, in der sich eine Infrastrukturkomponente während eines Betriebszustandes befindet. Eine Prozessausführung findet innerhalb eines Zeitintervalls statt und ist durch eine Prozessdefinition charakterisiert. Außerdem beschreibt eine Prozessausführung welche Outputs von der Infrastrukturkomponente, in welchem Gebiet zur Verfügung gestellt werden.
- Prozessdefinition** Beschreibung eines Betriebszustandes. Sie enthält Angaben über die Inputs, die eine Infrastrukturkomponente in diesem Betriebszustand benötigt und welche Outputs sie zur Verfügung stellt. Außerdem beschreibt sie, welche Umweltzustände an der Position der Infrastruktur vorhanden sein müssen, beziehungsweise welche nicht vorhanden sein dürfen.
- RCC** Ontologie zur Beschreibung von Relationen zwischen geometrischen Figuren.
- RDF** Resource Description Framework. Eine formale Sprache zur Formulierung logischer Aussagen über Ressourcen.
- RDF2Go** Open Source Abstraktionsschicht für RDF-basierte Triple Stores.
- RDFReactor** Framework zur Generierung von Java-Proxy-Objekten auf Basis von RDF-Schemata. Verwendet RDF2Go.
- SPARQL** SPARQL Protocol And RDF Query Language. Eine graph-basierte Abfragesprache für RDF.
- SPIN** SPARQL Inferencing Notation. Eine Notation zur semantischen Beschreibung von Inferenzregeln auf Basis von SPARQL.
- Triple Store** Datenbank für die Persistenz von Fakten, bestehend aus Subjekt, Prädikat und Objekt.
- Umweltzustand** Zustand der das Resultat eines Naturereignisses auf ein Gebiet beschreibt. Beispiele sind Hochwasser oder starker Wind.

Literaturverzeichnis

- [USDOE11 2005] Hurricane Katrina Situation Report No. 11 / U.S. Department of Energy. August 2005 (11). – Report
- [BBK-PraxisBS4 2010] Abschätzung der Verwundbarkeit gegenüber Hochwasserereignissen auf kommunaler Ebene / Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe. September 2010 (4). – Forschungsbericht
- [NewOrleans1 2013] SINCLAIR, Lea (Hrsg.) ; WILSON, Grace (Hrsg.): *New Orleans Facts Pre-Katrina*. 2013. – URL <http://www.neworleansonline.com/pr/releases/releases/New%20Orleans%20Facts%20Pre%20Katrina.pdf>
- [NewOrleans2 2013] SINCLAIR, Lea (Hrsg.) ; WILSON, Grace (Hrsg.): *Why New Orleans is Important to America*. 2013. – URL <http://www.neworleansonline.com/pr/releases/releases/Why%20New%20Orleans%20is%20Important%20to%20America.pdf>
- [Babitski u. a. 2009] BABITSKI, G. ; PROBST, F. ; HOFFMANN, J. ; OBERLE, D.: Ontology design for information integration in disaster management. In: *Proceedings of the 39th Jahrestagung der GI, Informatik 2009: Im Focus das Leben* Bd. 154, 2009, S. 3120–3134
- [Barro 1994] BARRO, Robert J.: The Aggregate-Supply/Aggregate-Demand Model. In: *Eastern Economic Journal* 20 (1994), Nr. 1, S. 1–6
- [Battle und Kolas 2012] BATTLE, Robert ; KOLAS, Dave: Enabling the Geospatial Semantic Web with Parliament and GeoSPARQL. In: *Semantic Web* (2012)
- [BBK-Glossar 2012] BUNDESAMT FÜR BEVÖLKERUNGSSCHUTZ UND KATASTROPHENHILFE: *BBK-Glossar Ausgewählte zentrale Begriffe des Bevölkerungsschutzes*. September 2012. – URL http://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/Praxis_Bevoelkerungsschutz/Band_8_Praxis_BS_BBK_Glossar.pdf
- [Berners-Lee u. a. 2001] BERNERS-LEE, Tim ; HENDLER, James ; LASSILA, Ora: The Semantic Web: A New Form of Web Content That Is Meaningful to Computers Will Unleash a Revolution of New Possibilities. In: *Scientific American* 284 (2001), Mai, Nr. 5, S. 34–43

- [Boersch u. a. 2007] BOERSCH, Ingo ; HEINSOHN, Jochen ; SOCHER, Rolf: *Wissensverarbeitung - Eine Einführung in die Künstliche Intelligenz für Informatiker und Ingenieure*. Spektrum Akademischer, 2007
- [Carter 1991] CARTER, W. N.: *Disaster Management: A Disaster Manager's Handbook*. Asian Development Bank, 1991
- [Cellier 1991] CELLIER, Francois E.: *Continuous system modeling*. Springer, 1991
- [Dengel 2012] DENGEL, Andreas (Hrsg.): *Semantische Technologien: Grundlagen - Konzepte - Anwendungen*. Heidelberg : Spektrum, Akad. Verl, 2012. – URL http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?id=3477135&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm. – ISBN 9783827426635 (GB.)
- [Dismukes 2011] DISMUKES, David E.: Post-Hurricane Impact Assessment / Costal Marine Institute. Dezember 2011. – Studie
- [Dudenhoeffer u. a. 2006] DUDENHOEFFER, Donald D. ; PERMANN, May R. ; MANIC, Milos: CIMS: A Framework for Infrastructure Interdependency Modeling and Analysis. In: *Proceedings of the 38th Conference on Winter Simulation*, 2006, S. 478–485
- [European Commission and others 2008] EUROPEAN COMMISSION AND OTHERS: COUNCIL DIRECTIVE 2008/114/EC of 8 December 2008 on the identification and designation of European critical infrastructures and the assessment of the need to improve their protection. In: *Official Journal of the European Union* 345 (2008), December, S. 75–82. – URL <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:345:0075:0082:EN:PDF>
- [FwDV100 1999] BUNDESMINISTERIUM DES INNERN: *Feuerwehr-Dienstvorschrift 100*. März 1999. – URL http://www.bevoelkerungsschutz-portal.de/SharedDocs/Downloads/BVS/DE/Zustaendigkeiten/Bund_Laender/FwDV100.html
- [Gahlen und Kranaster 2008] GAHLEN, Matthias ; KRANASTER, Maike: *Krisenmanagement: Planung und Organisation von Krisenstäben*. W. Kohlhammer Verlag, 2008
- [Gamma u. a. 1994] GAMMA, Erich ; HELM, Richard ; JOHNSON, Ralph ; VLISSIDES, John: *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Languages and Systems*. Addison-Wesley Reading, 1994
- [Grüninger und Fox 1995] GRÜNINGER, Michael ; FOX, Mark S.: The Role of Competency Questions in Enterprise Engineering. Springer, 1995, S. 22–31
- [Haimes und Jiang 2001] HAIMES, Yacov Y. ; JIANG, Pu: Leontief-based model of risk in complex interconnected infrastructures. In: *Journal of Infrastructure systems* 7 (2001), Nr. 1, S. 1–12

- [Hobbs und Pan 2006] HOBBS, Jerry R. ; PAN, Feng: *Time Ontology in OWL*. September 2006. – URL <http://www.w3.org/TR/2006/WD-owl-time-20060927/>
- [Horwitch 2002] HORWITCH, R.: Helping Knowledge Management Be All It Can Be. In: *J. Bus. Strategy* 23 (2002), Nr. 3, S. 26–32
- [Kelton und Law 2000] KELTON, W D. ; LAW, Averill M.: *Simulation modeling and analysis*. McGraw Hill Boston, MA, 2000
- [Knublauch u. a. 2011] KNUBLAUCH, Holger ; HENDLER, James A. ; IDEHEN, Kingsley: *SPIN - Overview and Motivation*. February 2011. – URL <http://www.w3.org/Submission/2011/SUBM-spin-overview-20110222/>
- [Kolas u. a. 2009] KOLAS, Dave ; EMMONS, Ian ; DEAN, Mike: Efficient Linked-List RDF Indexing in Parliament. In: *Proceedings of the 5th International Conference on Scalable Semantic Web Knowledge Base Systems (SSWS)* 9 (2009), S. 17–32
- [KRITIS-Schutz 2011] BUNDESMINISTERIUM DES INNERN: *Schutz Kritischer Infrastrukturen – Risiko- und Krisenmanagement (Leitfaden für Unternehmen und Behörden)*. Mai 2011. – URL http://www.bmi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/2008/Leitfaden_Schutz_kritischer_Infrastrukturen.html
- [KRITIS-Strategie 2011] BUNDESMINISTERIUM DES INNEREN: *Nationale Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen (KRITIS-Strategie)*. März 2011. – URL http://www.kritis.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/PublikationenKritis/Nat-Strategie-Kritis_PDF.html
- [Lieberman u. a. 2007] LIEBERMAN, Joshua ; SINGH, Raj ; GOAD, Chris: *W3C Geospatial Vocabulary*. October 2007. – URL <http://www.w3.org/2005/Incubator/geo/XGR-geo-20071023/>
- [Marsh 1997] MARSH, Robert T.: *Critical Foundations: Protecting America's Infrastructures: The Report of the President's Commission on Critical Infrastructure Protection*. President's Commission on Critical Infrastructure Protection, 1997
- [Martin u. a. 2010] MARTIN, Michael ; UNBEHAUEN, Jörg ; AUER, Sören: Improving the performance of semantic web applications with SPARQL query caching. In: *The Semantic Web: Research and Applications*. Springer, 2010, S. 304–318
- [Masolo u. a. 2003] MASOLO, Claudio ; BORGIO, Stefano ; GANGEMI, Aldo ; GUARINO, Nicola ; OLTRAMARI, Alessandro: *WonderWeb Deliverable D18, Ontology Library (final)*. 2003. – URL <http://wonderweb.semanticweb.org/deliverables/documents/D18.pdf>

- [Möller und Sintek 2007] MÖLLER, Manuel ; SINTEK, Michael: A Generic Framework for Semantic Medical Image Retrieval. In: *Proc. of the Knowledge Acquisition from Multimedia Content (KAMC) Workshop* Bd. 2, 2007
- [NATO 2007] NATO ; LORD JOPLING (Hrsg.): *162 CDS 07 E REV 1 - The Protection of Critical Infrastructures*. 2007. – URL <http://www.nato-pa.int/default.asp?SHORTCUT=1165>
- [Neches u. a. 1991] NECHES, Robert ; FIKES, Richard ; FININ, Tim ; GRUBER, Thomas ; PATIL, Ramesh ; SENATOR, Ted ; SWARTOUT, William R.: Enabling Technology For Knowledge Sharing. In: *AI Magazine* 12 (1991), Nr. 3
- [NewOrleansDrainage 2013] SEWERAGE AND WATER BOARD OF NEW ORLEANS: *Drainage System Facts*. 2013. – URL http://www.swbno.org/history_drainage_facts.asp
- [Nonaka und Takeuchi 1995] NONAKA, Ikujiro ; TAKEUCHI, Hirotaka: *The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create The Dynamics Of Innovation*. New York, NY : Oxford Univ. Press, 1995. – URL <http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy0604/94040408-d.html>. – ISBN 0195092694
- [OECD 2008] OECD ; GORDON, Kathryn (Hrsg.) ; DION, Maeve (Hrsg.): *Protection of 'Critical Infrastructure' and the Role of Investment Policies Relating to National Security*. May 2008. – URL <http://www.oecd.org/daf/inv/investment-policy/40700392.pdf>
- [Oliva u. a. 2010] OLIVA, Gabriele ; PANZIERI, Stefano ; SETOLA, Roberto: Agent-based input-output interdependency model. In: *International Journal of Critical Infrastructure Protection* 3 (2010), Nr. 2, S. 76–82
- [OpenStreetMap 2013a] OPENSTREETMAP: *Map Features*. 2013. – URL http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Map_features
- [OpenStreetMap 2013b] OPENSTREETMAP: *OSM XML*. 2013. – URL http://wiki.openstreetmap.org/wiki/OSM_XML
- [OverpassAPI 2013] OVERPASSAPI: *Overpass API*. 2013. – URL <http://overpass-api.de>
- [Pahl und Thiel-Clemen 2013] PAHL, Svend-Anjes ; THIEL-CLEMEN, Thomas: KIS - A Crisis Team Information System. In: COMES, T. (Hrsg.) ; FIEDRICH, F. (Hrsg.) ; FORTIER, S. (Hrsg.) ; GELDERMANN, J. (Hrsg.) ; MÜLLER, T. (Hrsg.): *Proceedings of the 10th International ISCRAM Conference*, May 2013, S. 632–637

- [Patterson u. a. 2007] PATTERSON, Craig L. ; IMPELLITTERI, Christopher A. ; FOX, Kim R. ; HAUGHT, Roy C. ; MECKES, Mark C. ; BLANNON, Janet C.: Emergency Response for Public Water Supplies after Hurricane Katrina. In: KABBES, Karen C. (Hrsg.): *World Environmental and Water Resources Congress American Society of Civil Engineers* (Veranst.), 2007, S. 1–9
- [Paulheim u. a. 2011] PAULHEIM, Heiko ; PLENDL, Roland ; PROBST, Florian ; OBERLE, Daniel: Mapping pragmatic class models to reference ontologies. In: *Proceedings of the IEEE 27th International Conference on Data Engineering Workshops (ICDEW)* IEEE (Veranst.), 2011, S. 200–205
- [Pederson u. a. 2006] PEDERSON, Peter ; DUDENHOEFFER, D ; HARTLEY, Steven ; PERMANN, May: Critical Infrastructure Interdependency Modeling: A Survey of US and International Research. In: *Idaho National Laboratory* (2006), S. 1–20
- [Peirce u. a. 2000] PEIRCE, Charles Santiago S. ; PEIRCE, Charles S. ; KLOESEL, Christian ; PEIRCE, Charles S. ; PEIRCE, Charles S.: *Semiotische Schriften*. Suhrkamp, 2000
- [Perrow 1984] PERROW, Charles: Normal accidents: Living with high-risk technologies. In: *NY: Basic Books* (1984)
- [Pohl und Rupp 2009] POHL, Klaus ; RUPP, Chris: *Basiswissen Requirements Engineering*. dpunkt Verlag, März 2009
- [Quasthoff und Meinel 2009] QUASTHOFF, Matthias ; MEINEL, Christoph: Design pattern for object triple mapping. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Services Computing, SCC'09* IEEE (Veranst.), 2009, S. 443–450
- [Quasthoff und Meinel 2011] QUASTHOFF, Matthias ; MEINEL, Christoph: *Effizientes Entwickeln von Semantic-Web-Software mit Object Triple Mapping*, Universität Potsdam, Hasso-Plattner-Institut, Dissertation, 2011
- [Reactor-Pattern 2012] ONTOLOGY DESIGN PATTERNS: *Submissions: Reactor Pattern*. August 2012. – URL http://ontologydesignpatterns.org/wiki/Submissions:Reactor_pattern
- [Rinaldi 2004] RINALDI, Steven M.: Modeling and Simulating Critical Infrastructures and Their Interdependencies. In: *Proceedings of the 37th Annual Hawaii International Conference on System Sciences* IEEE (Veranst.), 2004, S. 1–8
- [Rinaldi u. a. 2001] RINALDI, Steven M. ; PEERENBOOM, James P. ; KELLY, Terrence K.: Identifying, Understanding, and Analyzing Critical Infrastructure Interdependencies. In: *Control Systems, IEEE* 21 (2001), Nr. 6, S. 11–25

- [Rosato u. a. 2008] ROSATO, Vittorio ; ISSACHAROFF, L ; TIRITICCO, F ; MELONI, Sandro ; PORCELLINIS, S ; SETOLA, Roberto: Modelling Interdependent Infrastructures Using Interacting Dynamical Models. In: *International Journal of Critical Infrastructures* 4 (2008), Nr. 1, S. 63–79
- [Seed u. a. 2005] SEED, R.B. ; NICHOLSON, P.G. ; DALRYMPLE, R.A. ; BATTJES, J.A. ; BEA, R.G. ; BOUTWELL, G.P. ; BRAY, J.D. ; COLLINS, B.D. ; HARDER, L.F. ; HEADLAND, J.R. ; INAMINE, M.S. ; KAYEN, R.E. ; KUHR, R.A. ; PESTANA, J. M. ; SILVA-TULLA, F. ; STORESUND, R. ; TANAKA, S. ; WARTMAN, J. ; WOLFF, T.F. ; WOOTEN, R.L. ; ZIMMIE, T.F.: Preliminary Report on the Performance of the New Orleans Levee Systems in Hurricane Katrina on August 29, 2005 / NSF and Berkeley Engineering and ASCE and GEO Institute. November 2005 (UCB/CITRIS – 05/01). – Report
- [Sektoreneinteilung 2011] BUNDESMINISTERIUM DES INNERN: *Sektoren- und Brancheneinteilung Kritischer Infrastrukturen*. August 2011. – URL <http://www.bmi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Themen/Sicherheit/BevoelkerungKrisen/Sektoreneinteilung.pdf>
- [Senate 2006] SENATE, US: Hurricane Katrina: A nation still unprepared. In: *Rep. to the Committee on Homeland Security and Government Affairs, Washington, DC* (2006)
- [Setola u. a. 2009] SETOLA, Roberto ; DE PORCELLINIS, Stefano ; SFORNA, Marino: Critical infrastructure dependency assessment using the input–output inoperability model. In: *International Journal of Critical Infrastructure Protection* 2 (2009), Nr. 4, S. 170–178
- [Setola u. a. 2012] SETOLA, Roberto ; OLIVA, Gabriele ; CONTE, Francesco: Time-Varying Input-Output Inoperability Model. In: *Journal of Infrastructure Systems* 19 (2012), Nr. 1, S. 47–57
- [Shafiq u. a. 2010] SHAFIQ, Basit ; VAIDYA, Jaideep ; ATLURI, Vijay ; CHUN, Soon: UICDS compliant resource management system for emergency response. In: *Proceedings of the 11th Annual International Digital Government Research Conference on Public Administration Online: Challenges and Opportunities* Digital Government Society of North America (Veranst.), 2010, S. 23–31
- [Shamoug u. a. 2012] SHAMOUG, Aladdin ; JURIC, Radmila ; PAUROYALLY, Shamimabi: Ontological Reasoning as a Tool for Humanitarian Decision Making. In: *Proceedings of the 9th International ISCRAM Conference–Vancouver* Bd. 1, 2012
- [Simpson u. a. 2010] SIMPSON, David M. ; LASLEY, Carrie B. ; ROCKAWAY, Thomas D. ; WEIGEL, Terry A.: Understanding critical infrastructure failure: examining the experience of Biloxi and Gulfport, Mississippi after Hurricane Katrina. In: *International Journal of Critical Infrastructures* 6 (2010), Nr. 3, S. 246–276

- [SPARQL 2013] WORLD WIDE WEB CONSORTIUM: *SPARQL 1.1 Query Language*. March 2013. – URL <http://www.w3.org/TR/2013/REC-sparql11-query-20130321/>
- [Staab 2002] STAAB, Steffen: Wissensmanagement mit Ontologien und Metadaten. In: *Informatik Spektrum* (2002), Juni, S. 194–209
- [Staab und Studer 2009] STAAB, Steffen ; STUDER, Rudi: *Handbook on Ontologies*. Dordrecht : Springer, 2009 (International Handbooks on Information Systems). – URL <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-92673-3>. – ISBN 9783540926733
- [Svendsen und Wolthusen 2012] SVENDSEN, Nils K. ; WOLTHUSEN, Stephen D.: Modelling approaches. In: *Critical Infrastructure Protection*. Springer, 2012, S. 68–97
- [Swenson 2006] SWENSON, Dan: *Flash Flood - Hurricane Katrina's Inundation of New Orleans*. Mai 2006. – URL <http://www.nola.com/katrina/graphics/flashflood.swf>
- [Thiel-Clemen u. a. 2011] THIEL-CLEMEN, Thomas ; KÖSTER, Gerta ; SARSTEDT, Stefan: WALK–Emotion-based pedestrian movement simulation in evacuation scenarios. In: *Simulation in Umwelt-und Geowissenschaften-Workshop Berlin*, 2011, S. 103–112
- [Townsend u. a. 2006] TOWNSEND, Frances F. u. a.: The federal response to Hurricane Katrina: Lessons learned. In: *Washington, DC: The White House* (2006)
- [Truptil u. a. 2010] TRUPTIL, Sébastien ; BÉNABEN, Frédéric ; PINGAUD, Hervé: Collaborative process deduction to help the crisis cell emerging ecosystem to coordinate the crisis response. In: *Digital Ecosystems and Technologies (DEST), 2010 4th IEEE International Conference on IEEE* (Veranst.), 2010, S. 333–338
- [Vemmer 2004] VEMMER, T.: *The Management of Mass Casualty Incidents in Germany: From Ramstein to Eschede*. BoD–Books on Demand, 2004
- [Voelkel 2005] VOELKEL, Max: Writing the Semantic Web with Java. In: *CDH Seminar Galway, Ireland*, 2005
- [Völkel und Sure 2005] VÖLKEL, Max ; SURE, York: RDFReactor - From Ontologies to Programmatic Data Access. In: *Poster Proceedings of the Fourth International Semantic Web Conference*, 2005, S. 55
- [XKatastrophenhilfe 2013] BUNDESAMT FÜR BEVÖLKERUNGSSCHUTZ UND KATASTROPHENHILFE: *XKatastrophenhilfe*. Juni 2013. – URL <http://www.bbk.bund.de/xkatastrophenhilfe>

Versicherung über die Selbstständigkeit

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit im Sinne der Prüfungsordnung nach §16(5) APSO-TI-BM ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen habe ich unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Hamburg, 13. Februar 2014

Ort, Datum

Unterschrift