

Simulation von Kaskadeneffekten beim Ausfall von Infrastrukturen

Marie Bartels, Thomas Becker, Michael Hahne, Leon Hempel, Thomas H. Kolbe und Renate Lieb

Zusammenfassung

Zuverlässige Versorgungsinfrastrukturen für Strom, Gas, Wasser und Fernwärme sind im Alltag eine Selbstverständlichkeit. Im Katastrophenfall – ausgelöst etwa durch extreme Naturereignisse – können sie sich aufgrund gegenseitiger Abhängigkeiten und Beeinflussungen jedoch als besonders anfällig erweisen. Die Krisenmanager der Betreiber sind Spezialisten für ihr jeweiliges Netz. Sobald jedoch mehrere Versorgungssysteme betroffen sind, besteht selbst bei kleineren Defekten die Gefahr von Domino- oder Kaskadeneffekten, d. h. Ausfälle in einzelnen Systemen können sich gegenseitig bedingen und verstärken, weshalb die Reaktionen der Betreiber aufeinander abgestimmt sein müssen. Die Folgen der wechselseitigen Beeinflussung sind nicht nur schwer zu erfassen noch existieren angemessene Kommunikationswege für den Krisenfall. Eine erfolgreiche Koordination zwischen den Betreibern jedoch stellt unter Zeitdruck und sich ständig ändernden Rahmenbedingungen eine enorme Herausforderung dar. Die Erfahrung zeigt, dass auch bei kleineren Schadensfällen gerade an den Schnittstellen zwischen den Betreibern folgenreiche Probleme entstehen können, z. B. wenn Eindämmungsbemühungen an anderer Stelle krisenverstärkend wirken. Vor diesem Hintergrund wurden im durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projekts SIMKAS 3D – Simulation von Kaskadeneffekten beim Ausfall von Versorgungsinfrastrukturen – auf der Basis von Havarieszenarien bei Berliner Infrastrukturbetreibern die Wechselwirkungen und Kaskadeneffekte analysiert, die sich zu Krisen ausweiten und damit zu massiven Gefahren für die Bevölkerung werden können. Ziel war es, eine GIS-basierte Simulationsanwendung zu entwickeln. Diese soll Entscheidern ein sektorenübergreifendes Lagebild ermöglichen, um Folgewirkungen systemexterner Entscheidungen auf das eigene System abzuschätzen, zu kommunizieren und ggf. erneut abzustimmen. Das Projekt SIMKAS 3D hat im Jahr 2013 den DVW Best Practice Award erhalten.

Summary

Reliable supply infrastructures for electricity, gas, water and district heating are taken for granted in everyday life. However, in the event of a disaster – caused for example by extreme natural events – they may be particularly vulnerable due to mutual dependencies and influences. The crisis managers of the network operators are specialists in their respective network. There is a high risk of so called cascading effects. That means, failures can be conditioned or reinforced mutually, they can escalate if actions of operators are not coordinated beyond the own system. Such mutual dependencies are often neither recognized nor exist adequate ways of communication in crisis. Successful coordination between operators under

time pressure and ever-changing environment in the event of a disaster is an enormous challenge. Experience shows that even in smaller damage cases that arise at the interfaces between the operators, lead to momentous problems if mitigation efforts exacerbate the crisis elsewhere. On the basis of expanding accident scenarios the research project »Simulation of cascading effects in case of failure of supply infrastructures« (SIMKAS 3D), funded by the German Ministry of Education and Research, was therefore to develop a virtual decision space that allows better communication and decision making between stakeholders in cases of a crisis.

In 2013 SIMKAS 3D has been selected for the DVW Best Practice Award.

Schlüsselwörter: Krisenkommunikation, Katastrophenmanagement, Versorgungsinfrastrukturen, 3D-Stadtmodelle, CityGML

1 Einleitung

Versorgungsinfrastrukturen sind komplexe soziotechnische Systeme, die ein hohes Maß an Interdependenzen aufweisen. Tritt ein Krisen- oder Katastrophenfall in einem Sektor auf, kann dieser massive Auswirkungen auf alle anderen haben. Kleinere Defekte, oft als technisches oder menschliches Versagen bezeichnet, können so schnell Kaskadeneffekte auslösen, die schwer kontrollierbare Situationen für die verantwortlichen Akteure darstellen. Die zugrunde liegenden Interdependenzen sind weder vollständig erfasst noch existieren angemessene »Werkzeugkästen« für übergreifende Bewältigungsmaßnahmen. Gelingende Kommunikation und Koordination zwischen den verantwortlichen Akteuren stellen im Krisenfall erhebliche Herausforderungen dar. Ausfälle kritischer Infrastrukturen wie der Italian Blackout 2003 oder der Ausbruch des isländischen Vulkans Eyjafjallajökull, der im Jahr 2010 wochenlang zum Ausfall tausender Flüge geführt hat, zeigen überdeutlich, wie Naturereignisse oder unvorhergesehene Systemzustände zu länderübergreifenden Systemausfällen führen können. Die urbanen, humanitären und wirtschaftlichen Folgen solcher Ereignisse sind für sich genommen schon kaum abschätzbar und werden durch ihre intersektoriellen Abhängigkeiten zu anderen Infrastrukturen, Industrien u. ä. schlichtweg unvorhersehbar. Dem Eintreten solcher Ereignisse und systemweiter Ausfälle muss präventiv begegnet werden, um so das Übergreifen auf andere abhängige Systeme zu verhindern.

Ist bisher auf die Erfassung von Teilaspekten der Risiken von Versorgungsinfrastrukturen gesetzt worden, wurde in SIMKAS 3D ein integrierter Ansatz mit dem übergeordneten Ziel verfolgt, Entscheidungshilfen für verantwortliche Akteure unterschiedlicher aber interdependenter Infrastrukturen für den Krisenfall zu erarbeiten und das Berliner Krisenmanagement durch eine verbesserte technische und organisatorische Vernetzung zu optimieren. Arbeitshypothese des Projektes war, dass es Kaskadeneffekte zwischen interdependenten Infrastrukturen (Jean-Claude Laprie et al. 2007, Steven M. Rinaldi et al. 2001, Gregorio D'Agostino et al. 2010) gibt. Dabei muss es im Fall der Kaskaden eben nicht immer um einen Common Cause Ausfall gehen, der alle Infrastruktursysteme gleichzeitig trifft. Vielmehr geht es um Situationen, die keine gemeinsame Großschadenslage voraussetzen müssen, eine zunächst unbedeutende Störung weitet sich über Interdependenzen aus und steigert sich zur Krise.

Das Kernproblem besteht vor allem darin, dass an der Stelle, an der die ursprüngliche Störung auftaucht und sehr wahrscheinlich auch registriert wird, nicht bekannt ist, welche Effekte es möglicherweise bei den anderen Infrastrukturbetreibern geben kann. Hieraus ergab sich der Forschungsbedarf. An erster Stelle musste geklärt werden, wo zwischen den Systemen Interaktionspunkte vorliegen, die zu Kaskaden führen können. Interaktionspunkte können sich aus der räumlichen Nähe von technischen Systemkomponenten ergeben wie etwa aneinanderliegende Leitungsnetze, die sich wechselseitig durch Kriechströme oder Unterspülungen schädigen können. Andere Interaktionspunkte entstehen durch physische Medienabhängigkeiten, wobei hier als Medium Strom, Gas, Wasser usw. bezeichnet werden. Sind aus vertikal integrierten Systemen mit wenigen Schnittpunkten heute horizontal integrierte mit vielen Interaktionspunkten geworden, so bedeutet dies einen erhöhten Kooperations- und Kommunikationsbedarf zwischen den einzelnen Betreibern von Infrastruktursystemen. Entscheidend ist die zeitliche Komponente und die Relevanz einer Störung bzw. ob und vor allem ab wann für einen anderen Betreiber eine registrierte Störung relevant wird.

2 Die Grundlage: Katastrophenschutzmatrix

Das Projekt basiert auf einem inter- und transdisziplinären Ansatz. Im Konsortium waren Soziologen, Geoinformatiker, technische Entwickler sowie vier Versorgungsinfrastrukturbetreiber für Gas, Wasser, Strom und Fernwärme vertreten.¹ Übergeordnetes Ziel war es, auf Basis eines einheitlichen Datenmodells ein virtuelles, GIS-basiertes Unterstützungssystem zu erarbeiten, das die unterschiedlichen Betreiber in einem virtuellen Entscheidungsraum vereint und zur Kooperation in der Krise befähigt. Die Besonderheit besteht darin, dass der SIMKAS-3D-Demonstrator nicht ausschließlich netzbezogene räumliche Instanzen zwischen Systemen, soge-

nannte Interaktionspunkte, abbildet, sondern gleichzeitig funktionelle sowie kommunikative Zusammenhänge des Krisenmanagements aller beteiligter Organisationen, die durch Interviews, Workshops erhoben und in Feldtests beobachtet wurden. Potenzielle Störquellen, Störhäufigkeiten, Kommunikations-, Koordinations- und Kooperationsmaßnahmen sollten in eine Katastrophenschutzmatrix übertragen, – soweit möglich – auf räumliche Instanzen bezogen und auf Basis eines einheitlichen Datenmodells in den Demonstrator integriert werden.

Eine Systematik der Beziehungen zwischen den Systemelementen der unterschiedlichen Infrastrukturbetreiber wurde entwickelt, wobei als Systemelemente sowohl Bestandteile der Infrastrukturen als auch damit verbundene Entitäten bezeichnet wurden, von denen eine Wirkung auf andere Systemelemente ausgehen kann (Dierich et al. 2012, Becker et al. 2012). In den meisten Fällen handelt es sich dabei um unterschiedliche Konstellationen von organisationalen, natürlichen und technischen Elementen, die in der entwickelten Heuristik teils eigene Systemelemente darstellen, meist aber hybriden Charakter aufweisen. Neben den Systemkomponenten der Netze und sie betreibenden Organisationen wurden weitere externe Knoten eingeführt, die für kaskadierende Ereignisse von besonderer Relevanz sind, aber (weitgehend) außerhalb des Einflusses der Projektpartner liegen. Beispielfhaft seien das Wetter, der Verkehr, das Verhalten von Kunden genannt. Hieraus ließen sich unterschiedliche Beziehungstypen erstellen, deren Definitionen teils einschlägiger Fachliteratur entnommen, teils aus dem empirischen Material abgeleitet wurde. Im Fokus standen vor allem Beziehungen, die für intersektorielle Kaskadeneffekte von Bedeutung sind, sektorielle Organisationsabläufe also nur, wo diese auch für Ausbreitungsdynamiken von systemübergreifenden Störereignissen relevant sind. Insgesamt wurden neun Beziehungstypen in drei Klassen unterschieden:

1. Aktivitätsbeziehungen

Aktivitätsbeziehungen beschreiben im Wesentlichen die funktionellen Beziehungen zwischen den Versorgungsinfrastrukturen. Hierzu zählen vor allem Medienbeziehun-

¹ Das Konsortium des Verbundvorhabens SIMKAS 3D setzte sich aus Forschungsinstituten der TU Berlin (Zentrum für Technik und Gesellschaft und Institut für Geodäsie und Geoinformationstechnik), dem inter 3 Institut für Ressourcenmanagement, den Praxispartnern aus der Wirtschaft DHI-WASY, INFRAPROTECT GmbH, den Berliner Wasserbetrieben, Vattenfall Europe mit den Bereichen Distribution (Strom) und Heat (Fernwärme) sowie der Netzgesellschaft Berlin-Brandenburg (Gas) zusammen. Darüber hinaus konnte das Projekt auf die Unterstützung von Berlin Partner für Wirtschaft und Technologie GmbH, der Berliner Feuerwehr, der Senatsverwaltung für Inneres und Sport und der Senatsverwaltung für Wirtschaft, Technologie und Forschung im Hinblick auf die Bereitstellung von Daten, dem 3D-Stadtmodell von Berlin, Interviewpartnern und Feedback bauen.

gen, wenn von einem Systemelement (ausgehend) zum anderen (eingehend) ein Medium weitergegeben wird wie bspw. vom Kraftwerk der produzierte Strom in das Leitungsnetz eingespeist wird und auch das Wasserwerk versorgt. Wie sich gezeigt hat, lässt sich das Funktionieren des Zusammenspiels zwischen den Versorgern aber nicht auf die wechselseitige Lieferung der entsprechenden Medien reduzieren. Vielmehr gibt es schon auf der rein funktionellen Ebene eine Vielzahl weiterer notwendiger Liefer- sowie auch Dienstleistungsbeziehungen, die jeweils einen eigenen Beziehungstyp darstellen.

II. Kommunikationsbeziehungen

Neben den stofflichen und handlungsbezogenen Leistungen, die für die Gewährleistung der Medienbeziehungen erforderlich sind, spielt die Kommunikation über diese Beziehungen in der Praxis eine, wenn nicht die entscheidende Rolle. Nur eine abgestimmte Kommunikation zwischen allen im Krisenfall beteiligten Akteuren ermöglicht es, die Ausbreitung von Kaskaden zu verhindern und eine schnelle Bewältigung zu organisieren. Damit eine funktionelle Zusammenarbeit im Regelbetrieb wie im Störfall reibungslos funktionieren kann, ist es unverzichtbar, dass die entsprechenden Leistungen abgestimmt, kontrolliert, reklamiert und im Falle der Krise zusätzlich angefragt werden können. Erforderlich sind Kommunikationskanäle und kompetente Gesprächsteilnehmer, damit Aktivitäten eingeleitet und durchgeführt werden können. Ohne Kommunikation über die Aktivitätsbeziehungen sind alle Beteiligten blind für die jeweilige intersektorielle Lage und einer unkontrollierten kaskadenartigen Ausbreitung von Störereignissen können keine Maßnahmen entgegengesetzt werden. Unterschieden werden kann in

erstens Telekommunikationsbeziehungen, zweitens Face-to-face-Beziehungen und drittens Fernwirkbeziehungen, wobei es sich entweder um Kommunikationsbeziehungen handelt, bei denen über ein Leitsystem die Zustandsmeldung einer Maschine an ein anderes Systemelement zum Zweck der Überwachung gesendet oder angefordert oder eine Maschine über ein Leitsystem gesteuert wird. Als Kommunikation wurde also der Austausch von Information zwischen menschlichen wie technischen Akteuren verstanden, wobei wichtig ist, ob Sender und Empfänger sich gegenseitig verstehen.

III. Störbeziehungen

Schließlich wurde das Interviewmaterial auf die beschriebenen Störbeziehungen hin ausgewertet. Zu untersuchen war, was Ursachen für intersektorielle Störungen sein können. Auch hier konnten drei Arten von Beziehungen unterschieden werden. Eine räumliche Beziehung liegt vor, wenn eine Störung an einer immobil Systemkomponente durch die räumliche Nähe zu einer anderen zustande kommt. Dies geschieht vor allem bei sich gegenseitig beeinträchtigenden Leitungsnetzen oder Anlagen, wie bspw. Unterspülungen bei Wasserrohrbrüchen. Der zweite Typus besteht in physikalischen Beziehungen, wo mindestens ein (mobiles) Systemelement auf irgendein anderes wirkt. Hier spielt bspw. das Wetter eine wichtige Rolle, da durch ungünstige Wetterbedingungen immer wieder Störungen bei den Infrastrukturbetreibern ausgelöst werden, die zu Kaskaden führen können. Darüber hinaus gibt es noch die sonstigen Störbeziehungen als dritten Typus dieser Klasse, die sich abspielen, wenn mediale Effekte eintreten oder Fehlinformationen bspw. von externen Quellen die Abläufe stören (s. Abb. 1).

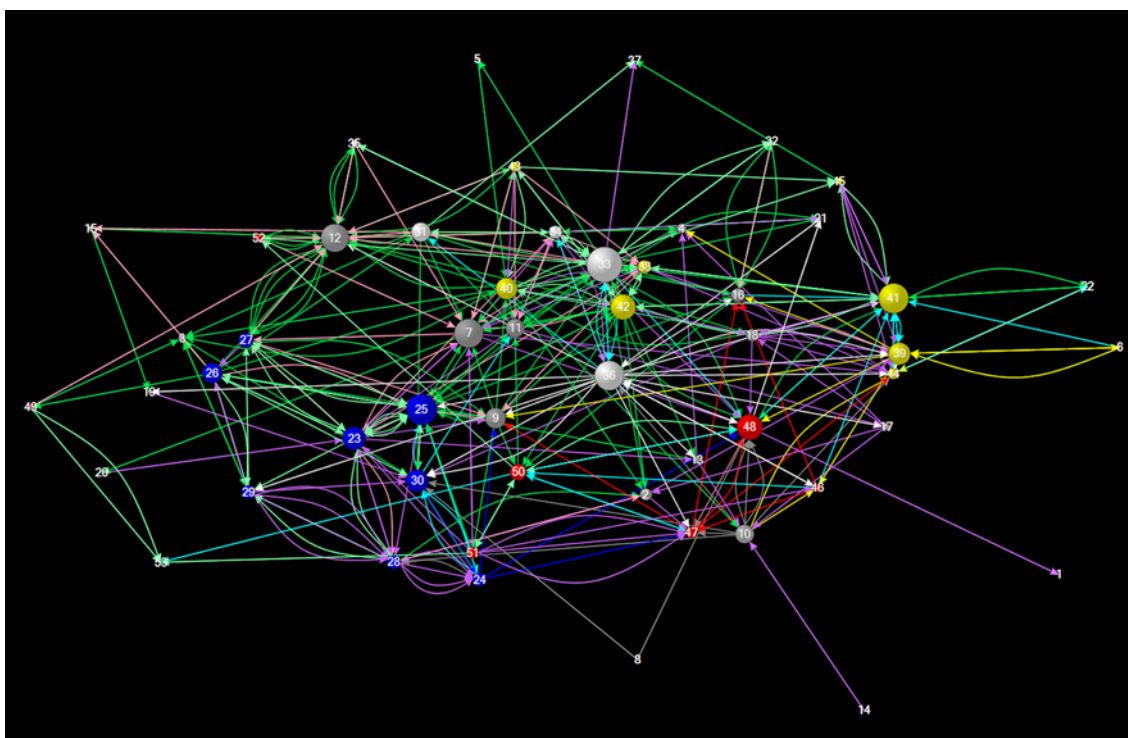


Abb. 1:
Grundlage der Katastrophenschutzmatrix: Unterschiedliche Beziehungstypen bestimmen die intersektorielle Dynamik der Netze im Regelbetrieb wie im Störfall.

modelle zur Umsetzung der CityGML UtilityNetworkADE in Form eines UML-Klassendiagramms. Die Klassen sind in einem eigenen Namensraum definiert, der sich von den offiziellen CityGML- sowie GML-Namensräumen unterscheidet. Das Datenmodell der UtilityNetworkADE bildet somit ein für sich eigenständiges Paket, das jedoch Abhängigkeiten zu CityGML (blau markierte Klassen) und GML (grün markierte Klassen (Open Geospatial Consortium 2007)) aufweist. Nähere Informationen und weitere UML-Diagramme können unter www.citygmlwiki.org/index.php/CityGML_UtilityNetworkADE oder in den Publikationen von (Thomas Becker et al. 2010, 2011) gefunden werden.

_NetworkFeature: Diese zentrale Klasse dient der Repräsentation der tatsächlichen topographischen Objekte eines Versorgungsnetzwerks wie bspw. (Rohr-)Leitungen, Verbindungsstücke, Schaltschränke, etc. Ein _NetworkFeature ist somit ein topographisches Stadtobjekt innerhalb des Stadtmodells und erbt alle Eigenschaften von _CityObject. _NetworkFeature ist dazu gedacht, selbst wieder als Oberklasse für die thematische Ausmodellierung konkreter Versorgungsnetze zu dienen.

Network: Die Klasse Network ist ein weiteres zentrales Element des UtilityNetworkADE-Datenmodells. Sie dient der topographischen Repräsentation eines gesamten Versorgungsnetzwerks wie etwa des Gas-, Wasser- oder auch Stromnetzes und fasst zu diesem Zweck eine Menge von entsprechenden _NetworkFeature-Komponenten zusammen.

FeatureGraph: Die Klasse FeatureGraph beschreibt – ebenso wie _NetworkFeature – ein Netzobjekt des Versorgungsnetzwerks. Allerdings liegt der Klasse FeatureGraph eine topologische bzw. funktionale Sichtweise auf das Netzobjekt zugrunde, während die Klasse _NetworkFeature das topographische Netzobjekt (insbesondere dessen 3D-Objektgeometrie) modelliert, vgl. dazu (Thomas Becker et al. 2010, Kapitel 4).

NetworkGraph: Analog der Modellierung von _NetworkFeature und FeatureGraph, repräsentiert die Klasse NetworkGraph die topologische Sicht auf das gesamte durch die Klasse Network beschriebene Versorgungsnetz. NetworkGraph fasst daher die einzelnen FeatureGraph-Instanzen der im Network aggregierten _NetworkFeature in einem topologischen Netzwerk zusammen.

Node: Die Klasse Node beschreibt einen Knoten innerhalb des topologischen Graphen eines einzelnen _NetworkFeature. Knoten können daher ausschließlich für einen FeatureGraph modelliert werden (und nicht für NetworkGraph). Jeder FeatureGraph kann beliebig viele Knoten enthalten, muss jedoch zumindest aus einem Knoten bestehen. Jeder Knoten ist darüber hinaus mit genau einem FeatureGraph assoziiert.

_Edge: Die abstrakte Klasse _Edge dient der Modellierung einer Kante innerhalb eines topologischen Graphen.

Eine _Edge muss von genau zwei Knoten begrenzt werden (siehe boundedBy-Assoziation zu Node). Das Datenmodell unterscheidet zwei grundsätzliche Arten von Kanten, die über die Subklassen InteriorFeatureConnection (sowie deren weitere Unterklasse SwitchConnection) und InterFeatureConnection modelliert werden können.

4 Der Demonstrator: ein virtueller Entscheidungsraum

Auf der Basis des Datenmodells wurde eine Geodatenbank konzipiert und automatisiert mit den von den Projektpartnern zur Verfügung gestellten Datensätzen gefüllt. Auf der Grundlage des Kern- und Komponentenmodells der UtilityNetworkADE wurde eine ESRI-Geodatenbank erzeugt und die Geoobjekte aus den GIS-Systemen der einzelnen Versorger wurden in diese neue Struktur übertragen. Die Geodatenbank bildete die Datenschnittstelle zum Demonstrator. Dieses Modell bildet sowohl den NetworkCore, die innere Netztopologie in den entsprechenden Tabellen als auch die Funktionen und Interdependenzen ab. Der Demonstrator (s. Abb. 3) wurde als kundenbezogene Erweiterung der ArcGIS-Produktfamilie konzipiert und entwickelt.

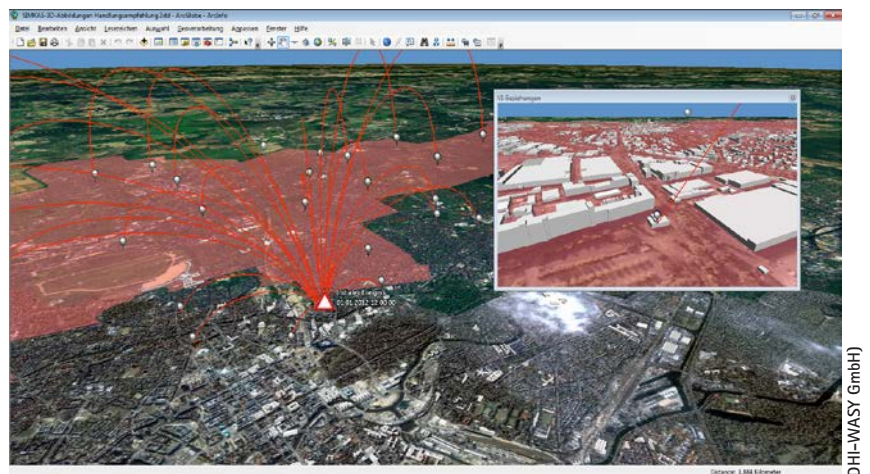


Abb. 3: SIMKAS-3D-Beziehungsgeflecht in Berlin

Damit stehen dem Nutzer sowohl die projektbezogenen als auch die ArcGIS systemeigenen Funktionalitäten zur Verfügung. Ein gemeinsames Lagebild, wechselseitiger Informationsaustausch und zahlreiche Analysefunktionen zur Früherkennung von Interdependenzen sowie Folgewirkungen von Handlungen ermöglichen ein verteiltes, aber zugleich koordiniertes Handeln. Sie befähigen den Krisenmanager im Krisenfall effiziente, über die eigene Systemgrenze hinaus abgestimmte Entscheidungen zu treffen und hierdurch Risiken aufgrund intersektorieller Kaskadeneffekte maßgeblich zu minimieren. In die Entwicklung sind Erkenntnisse und Ergebnisse der Projektpartner aus den Arbeitspaketen Systemanalyse, Datenmodellierung sowie Szenarioentwicklung eingeflossen.

Nachfolgend eine kurze Zusammenstellung realisierter Funktionalitäten des SIMKAS-Demonstrators:

- Gemeinsame Einsatzdatenbank, um relevante Einsatzdaten der beteiligten Infrastrukturbetreiber von verteilten Standorten gemeinsam zu verwalten.
- Filtermechanismen zur Vermeidung von Informationsüberflutung in der Lagekartenansicht.
- Analysewerkzeuge, um z. B.
 - a) Beziehungen zwischen Anlagenknoten (Gasstation – Heizkraftwerk – Umspannwerk – Wasserwerk) zu identifizieren;
 - b) Anlagen innerhalb von Gebieten mit Versorgungsausfall (z. B. Stromausfall – Pumpwerke) oder Einrichtungen in Gebieten mit Trinkwasserverunreinigung (z. B. Krankenhäuser) auszuweisen;
 - c) die zahlenmäßige Betroffenheit der Bevölkerung zu verschiedenen Zeitpunkten abzuschätzen.
- Logbuch zur intersektoriellen Kommunikation wichtiger Ereignisse und Prognosen (manuell) als auch zur chronologischen Protokollierung bestimmter Aktionen mit der Software (automatisch).

5 Fazit

Angesichts der zunehmenden wechselseitigen Vernetzung urbaner Prozesse gewinnt heute ein ganzheitlicher Blick auf die Stadt an Bedeutung. Gerade aufgrund von steigenden Interdependenzen erweist sich eine systemische Betrachtung bei der Planung aber auch bei der Bewältigung konkreter Krisenlagen als notwendig. Aus dieser Dynamik ergeben sich sowohl die Weiterentwicklung als auch die Erschließung neuer Themenfelder im GIS-Bereich. So wird das Berufsbild von Geoinformatikern nicht mehr nur durch die Modellierung räumlicher Instanzen geprägt, sondern vielmehr durch einen systemischen Blick gekennzeichnet sein müssen, der räumliche und soziale Dynamiken zu integrieren vermag und sich hierfür ggf. immer wieder der Expertise Dritter bedient. Die Modellierung von Abhängigkeiten auf unterschiedlichen Aggregationsniveaus und ihre Wechselwirkungen wird in den Vordergrund rücken, um Entscheidungen durch die Analyse von potenziellen Auswirkungen auf unterschiedliche Prozesse zu unterstützen (s. Abb. 4).

Ebenso werden verstärkt partizipative Ansätze einfließen, wie sie die Sozialwissenschaften erarbeiten, um praktikable Lösungen im Sinne eines PGIS (Participatory GIS) oder PPGIS (Public Participatory GIS) zu entwickeln. Damit die Einbindung von Betroffenen in die Entscheidungsprozesse auf sämtlichen Maßstabsebenen durch diese frühzeitig ermöglicht werden kann, bedarf es bereits auf der Entwicklerebene eines vertieften Verständnisses sozialer Kommunikationsprozesse zwischen Akteuren. Darüber

hinaus kann auf Grundlage von SIMKAS 3D die Risiko- und Krisenkommunikation zwischen Versorgungsinfrastrukturen wesentlich verbessert werden. Es ergibt sich eine schnellere, zeitnahe Übersicht über Abläufe und den Bedarf an operativen Mitteln. Durch ein gemeinsames Lagebild können Entscheidungen besser abgestimmt werden und so zu effektiverem Handeln im Krisenfall führen. Ebenso lassen sich bereits im Vorfeld durch räumliche Analysen zahlreiche Vulnerabilitäten identifizieren. Überschneidungen und Interaktionspunkte können lokalisiert werden und als Grundlage für Übungsszenarien dienen. Gerade die Modellierung in 3D kann das Verständnis, die Aufnahmefähigkeit und die Verarbeitung der vorgeschlagenen Maßnahmen bei beteiligten Akteuren unterstützen. Durch eine konsistente Auswertung über mehrere Aggregationsniveaus ist es möglich, die Hebelwirkungen von Maßnahmen im urbanen Raum für unterschiedliche Akteure aufzuzeigen. Durch die Software werden Ausfallrisiken und Folgeschäden beim Ausfall von Versorgungsinfrastrukturen verringert und die Sicherheit der Bürgerinnen und Bürger maßgeblich erhöht. Eine frühzeitige Erkennung von möglichen Störungen und deren Auswirkungen auf den urbanen Raum kann zudem volkswirtschaftliche Schäden vermeiden.

Dank

Dank gilt den weiteren wissenschaftlichen Partnern des Projekts: *DHI-WASY GmbH*, *inter 3 Institut für Ressourcenmanagement* und der *Infraprotect GmbH*. Darüber hinaus verdankt das Projekt den beteiligten Berliner Infrastrukturbetreibern viel, die nicht nur Geodaten zur Verfügung stellten, sondern im Rahmen vieler Arbeitspakete mit Expertenwissen und Erfahrung dazu beitrugen, dass die Projektergebnisse Bezug auf real existierende Probleme nehmen und bereits während der Entwicklungsphase laufend Rückmeldungen aus der Praxis Berücksichtigung finden konnten. SIMKAS 3D wurde im Rahmen des Programms »Forschung für die zivile Sicherheit« aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung finanziert.

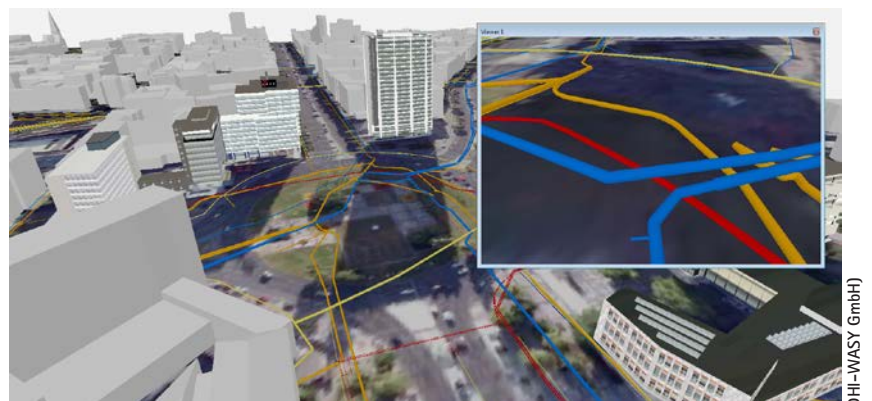


Abb. 4: Ernst Reuter-Platz in Berlin (3D-Stadtmodell) mit Darstellung der Leitungen

Literatur

- Becker, Thomas; Bartels, Marie; Hahne, Michael; Hempel, Leonhard; Lieb, Renate: Cascading Effects and Interorganisational Crisis Management of Critical Infrastructure Operators. In: Proceedings of the 8th International Conference on Geo-Information for Disaster Management, Enschede, 2012, pp. 105–116.
- Becker, Thomas; Nagel, Claus; Kolbe, Thomas H.: Integrated 3D Modeling of Multi-Utility Networks and their Interdependencies for Critical Infrastructure Analysis. In: Kolbe T., König G., Nagel C. (Eds.) *Advances in 3D Geo-Information Sciences*, 1st Edition. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011.
- Becker, Thomas; Nagel, Claus; Kolbe, Thomas H.: UtilityNetworkADE. Core model. www.citygmlwiki.org/index.php/CityGML_UtilityNetworkADE, letzter Zugriff 5/2014.
- D'Agostino, Gregorio; Cannata, Roberto; Rosato, Vittorio: On Modelling of Interdependent Network Infrastructures by Extended Leontief Models. In: Rome E., Bloomfield R. (eds) *Critical information infrastructures security*. 4th international workshop, CRITIS 2009, Bonn, Germany, September 30 – October 2, 2009; revised papers. Springer, Berlin, 2010, pp. 1–13.
- Dierich, Axel; Schön, Susanne; Bartels, Marie; Hahne, Michael; Hempel, Leonhard; Lieb, Renate: Szenarioanalyse für intersektorales Infrastruktur-Management. DVGW 2012(6), 2012, S. 20–23.
- Laprie, Jean-Claude; Kanoun, Karama; Kaâniche, Mohamed: Modelling Interdependencies Between the Electricity and Information Infrastructures. In: Saglietti F. (ed) *Computer safety, reliability, and security*. 26th International Conference, SAFECOMP 2007, Nurmberg, Germany, September 18–21, 2007; proceedings, LNCS 4680. Springer, Berlin, 2007, pp. 54–67.
- Min H.-S. J., Beyeler W., Brown T., Son Y. J., Jones A. T.: Toward modeling and simulation of critical national infrastructure interdependencies. *IIE TRANS* 39(1):57–71, 2007.
- Open Geospatial Consortium (2007) *OpenGIS® Geography Markup Language (GML) Encoding Standard*(OGC 07-036). Last Access 5/2014.
- Open Geospatial Consortium (2012) *OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard*. Encoding Standard. OGC 12-019 (OGC 12-019). https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=47842. Last access 4/2014.
- Rinaldi, Steven M.; Peerenboom, James P.; Kelly, Terrence K.: Identifying, understanding, and analyzing critical infrastructure interdependencies. *IEEE CONTR SYST MAG* 21(6):11–25, 2001.
- Tolone, William J.; Wilson, David; Raja, Anita; Xiang, Weining; Hao, Huili; Phelps, Stuart; Johnson, E. Wray: *Critical Infrastructure Integration Modeling and Simulation*. In: Chen H., Reagan Moore, Daniel D. Zeng, John Leavitt (eds) *Intelligence and security informatics*. Second Symposium on Intelligence and Security Informatics, ISI 2004, 3073/2004. Springer, Berlin [u.a.], pp. 214–225, 2004.

Anschrift der Autoren

Marie Bartels, M.A. | Dipl.-Soz. tech. Michael Hahne
 Dr. Leon Hempel | Mag. rer. soc. oec Renate Lieb
 Zentrum Technik und Gesellschaft – Sekr. HBS 1
 Hardenbergstraße 16-18, 10623 Berlin
bartels@ztg.tu-berlin.de
hahne@ztg.tu-berlin.de
hempel@ztg.tu-berlin.de

Dipl.-Ing. Thomas Becker
 Technische Universität Berlin – Institut für Geodäsie und Geoinformationstechnik
 Straße des 17. Juni 152, 10623 Berlin
thomas.becker@tu-berlin.de

Prof. Dr. rer. nat. Thomas H. Kolbe
 Technische Universität München – Institut für Geodäsie, GIS und Landmanagement – Lehrstuhl für Geoinformatik
 Arcisstraße 21, 80333 München
thomas.kolbe@tum.de

Dieser Beitrag ist auch digital verfügbar unter www.geodaesie.info.