

ariadne – GI-Dienste für Notfall-Management-Systeme

Carsten Keßler, Sven Schade, Alexander Starke,
Sascha Tegtmeier, Alexander Walkowski, Thorsten Wilmes

Institut für Geoinformatik
Universität Münster

{kessler | schades | alstar | stemeyer | walkowka | wilmes}
@ifgi.uni-muenster.de

ZUSAMMENFASSUNG

Aufgabe von Notfall-Management-Systemen ist es, Experten bei der Einschätzung von Notfallsituationen und der Planung von Hilfsmaßnahmen zu unterstützen; des Weiteren sollten sie bei der Benachrichtigung der Betroffenen Hilfestellung geben. Durch die Nutzung geeigneter Geoinformationsdienste (GI-Dienste) können die für das Notfall-Management notwendigen Funktionalitäten interoperabel über das World Wide Web zur Verfügung gestellt werden. Im Rahmen eines Forschungsprojektes wurden prototypisch Dienste für die Behandlung von Luftschadstoffstörfällen entwickelt. Durch die Kopplung zu einer *Service Chain*, der sogenannten ariadne-Dienste-Kette, kann das Notfall-Management automatisiert und schnellstmögliche Hilfestellung gewährt werden.

EINLEITUNG

Notfall-Management-Systeme sollen Experten bei der Einschätzung von Notfallsituationen und der Planung von Hilfsmaßnahmen unterstützen; bei der Benachrichtigung der Betroffenen sollten sie ebenfalls Hilfestellung leisten. Laut Hanke (2003) kommt der Verfügbarkeit von Informationen im Notfall-Management eine Schlüsselrolle zu. Von zentraler Bedeutung ist neben einer soliden Datenbasis ein reibungsloser Informationsaustausch.

Innerhalb dieses Forschungsprojektes wurden für ein Szenario aus dem Anwendungsbereich Luftschadstoffüberwachung auf bestehenden Standards aufbauende, wiederverwendbare und austauschbare Webservices spezifiziert, um so ein Höchstmaß an Interoperabilität zu erreichen.

In dem zugrundegelegten Szenario sollen Luftschadstoffstörfälle⁸, die durch Chemieunfälle oder hohe Verkehrsbelastung verursacht sind, erkannt und

⁸ Unter Luftschadstoffstörfall wird die Überschreitung eines in der EU-Luftqualitäts-Rahmenrichtlinie (EU 1996, 1999) festgelegten Grenzwertes verstanden.

Autofahrer darüber informiert werden. Über einen geeigneten GI-Dienst werden den, von dem Störfall betroffenen, Autofahrern Umleitungs- bzw. Ausweichempfehlungen gegeben (Abb. 1).

Hierzu werden in diskreten Zeitschritten gemessene Luftschadstoffkonzentrationen auf Grenzwertüberschreitungen überprüft. Die Messwerte werden durch ein für die Anwendungsregion bestehendes Messnetz zur Überwachung von Luftschadstoffkonzentrationen, wie zum Beispiel das Luftqualitäts-Überwachungs-System (LUQS) (LUA 2001) des Landesumweltamtes NRW, bereitgestellt. Ist eine Überschreitung eingetreten, wird die räumliche Ausdehnung der Notfallsituation durch ein Interpolationsmodell beschrieben und anhand der räumlichen Verteilung der Schadstoffkonzentrationen die Notfallregionen (Gebiete mit Grenzwertüberschreitungen) ermittelt. Im Anschluss können die bei dem System registrierten Autofahrer benachrichtigt und in Kombination mit einem Routing Service aus dem Notfallgebiet geleitet werden. Um die Ausbreitung von Schadstoffwolken im Routing berücksichtigen zu können (adaptives Routing), muss deren raumzeitliche Entwicklung bekannt sein. Diese wird durch ein mesoskaliges Ausbreitungsmodell beschrieben. Die Routing-ergebnisse werden über einen Visualisierungsdienst wahlweise in Form von Text oder als Scalable Vector Graphic (SVG) dargestellt und an den Client übermittelt. Die Darstellungsformate erlauben eine Visualisierung auf Mobile-Devices wie zum Beispiel PDAs⁹.

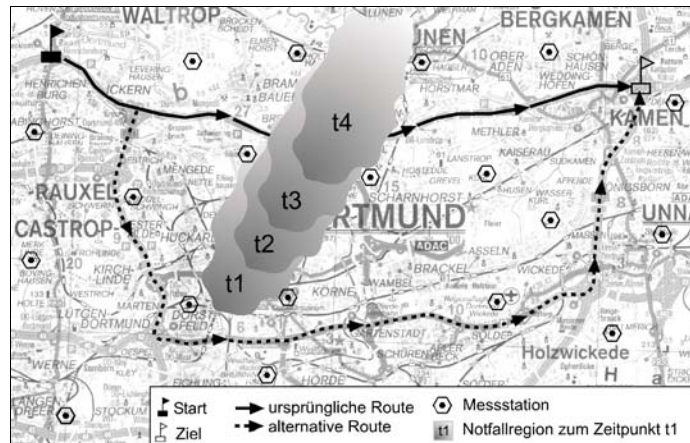


Abb. 1: Schematische Darstellung des Szenarios

⁹ Personal Data Assistant (PDA)

ARCHITEKTUR

Die ariadne-Dienste-Kette lässt sich in zwei Bereiche unterteilen: Die für den Anwendungsfall spezifische Funktionalität (Interpolation, Ausbreitungsmodell) und das allgemeine Notfall-Management (Benachrichtigung, Routing) (Abb. 2).

Der anwendungsfallsspezifische Teil des Notfall-Managements wird durch den sogenannten *Air Pollution Management Service* (APMS) gekapselt. Dieser stellt einen Aggregate Service im Sinne der OpenGIS Service Architecture (Percivall 2002) dar. Die von der Anwendungsdomäne unabhängigen Funktionalitäten werden durch Opaque Chaining im sogenannten *Emergency Routing Service* (ERS) zusammengefasst.

Air Pollution Management Service

Der APMS überprüft die gemessenen Luftschadstoffkonzentrationen auf Grenzwertüberschreitungen und initiiert im Falle eines Störfalles das Notfall-Management.

Um Schwierigkeiten beim Datenaustausch zu verhindern, werden die punktuell in diskreten Zeitschritten gemessenen Schadstoffkonzentrationen von einem OGC¹⁰ Sensor Collection Service (SCS) abgefragt. Der SCS stellt eine im Rahmen des Open Web Service Testbed 1.2 (OWS 1.2) durch die Sensor Web Enablement (SWE)-Initiative spezifizierte Schnittstelle dar, um auf raumzeitvariante Daten zuzugreifen (McCarty 2002). Ist eine Grenzwertüberschreitung aufgetreten, fungiert der APMS als Koordinierungszentrale für anwendungsfallsspezifischen Dienste. Aufgabe dieses Services ist es, die Notfallregionen mit deren raumzeitlichen Entwicklung beim *Emergency Management Service* (EMS) zu registrieren. Die Berechnung der Notfallregionen und deren Entwicklung wird nicht vom APMS durchgeführt, sondern in separaten Diensten. Dies bietet die Möglichkeit die Funktionalität optimal wiederverwenden zu können und gegebenenfalls andere Ausbreitungs- bzw. Interpolationsmodelle nutzen zu können. Die Berechnung der raumzeitlichen Entwicklung erfolgt durch ein mesoskaliges Ausbreitungsmodell, welches in einem *Broadening Service* gekapselt wird. Die für die Ausbreitungsmodellierung notwendigen meteorologischen Einflussgrößen, wie zum Beispiel Windrichtung und Windgeschwindigkeit, werden ebenfalls von einem SCS abgefragt. Für die Initialisierung des Modells ist eine flächenhafte Verteilung der aktuellen Schadstoffkonzentrationen notwendig, diese wird von einem *Interpolationsdienst* berechnet.

¹⁰ OpenGIS Consortium (OGC), siehe Buehler und McKee (1998)

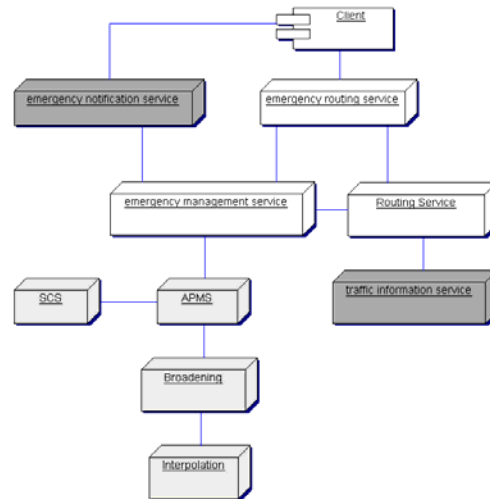


Abb. 2: Architektur der Dienste-Kette; weiß hinterlegte Dienste gehören zum allgemeinen Notfall-Management, hellgrau hinterlegte zum Anwendungsfall. Dunkelgrau hinterlegte Dienste sind im Rahmen dieser Arbeiten nicht spezifiziert und umgesetzt.

Emergency Routing Service

Der EMS stellt die zentrale Kontrolleinheit für das allgemeine Notfall-Management dar. Nachdem Notfallregionen und ihre raumzeitliche Entwicklung registriert worden sind, werden diese an den *Routing Service* weitergeleitet um so ein adaptives Routing zu ermöglichen. Nach der Information des *Routing Service* erfolgt die Benachrichtigung der Betroffenen über den *Emergency Notification Service* (ENS)¹¹. Im Anschluss an die Benachrichtigung der Clients stellen diese einen automatisierten Routing Request an den Emergency Routing Service. Dieser leitet den Request an den *Routing Service* weiter. Die berechnete Route wird gemäß der Anfrage visualisiert und an den Client übermittelt.

Ein Vorteil der dienstebasierten Architektur liegt in der Wiederverwendbarkeit und Erweiterbarkeit. Um in das Routing Informationen über die aktuelle Verkehrsbelastung der alternativen Route einfließen zu lassen, könn-

¹¹ Im Rahmen des Forschungsprojektes wird dieser Dienst nicht spezifiziert und umgesetzt, sondern für Demonstrationszwecke simuliert.

ten über ein *Traffic Information Service*¹² (TIS) zusätzliche Informationen über Verkehrsaufkommen eingebracht werden.

Durch die Verkettung der oben erwähnten Dienste zur ariadne-Dienste-Kette wird ein durchgängiger Datenfluss und schnelle Hilfestellung gewährleistet.

Interaktionsmuster

In Abb. 3 ist vereinfacht¹³ das Interaktionsmuster der Dienste dargestellt. Die im Text in Klammern angegebenen Nummern beziehen sich auf die Interaktionen.

Für die Überprüfung der gemessenen Luftschadstoffkonzentrationen auf Grenzwertüberschreitungen, ruft der APMS in festen Zeitschritten (alle 30 Min.) die benötigten Daten von einem SCS ab (1). Ist ein Störfall aufgetreten wird das Ausbreitungsmodell initialisiert (2). Die für die Initialisierung benötigte aktuelle räumliche Verteilung der Luftschadstoffkonzentrationen wird von einem Interpolationsdienst angefordert (2.1). Dieser fragt die aktuellen Schadstoffkonzentrationen vom SCS ab (2.1.1). Das Ergebnis ist ein mehrdimensionales Raster, welches für die einzelnen Zeitschritte die Konzentrationen enthält. Der APMS extrahiert aus dem Raster die Notfallregionen, sowie deren Ausbreitung und registriert diese beim EMS (3).

Der EMS übermittelt die Notfallregionen und deren raumzeitliche Entwicklung an den Routing Service (3.1). Wenn ein TIS in die Dienste-Kette integriert ist, fragt der Routing Service dort aktuelle Verkehrsinformationen ab, um diese bei der Gewichtberechnung zu berücksichtigen (3.1.1). Sind die Gewichte für das Routing gesetzt, stößt der EMS den Emergency Notification Service an (3.2). Über den ENS werden alle ariadne Clients in den Notfallregionen benachrichtigt (3.2.1).

Hat der Client eine Benachrichtigung empfangen, stellt dieser automatisch einen Routing Request an den Emergency Routing Service (4). Als Parameter wird die aktuelle Position des Clients übergeben. Der ariadne Dienst leitet die eingehenden Requests an den Routing Service weiter (4.1). Die Ergebnisse des Routings werden vom Emergency Routing visualisiert und an den Client übermittelt. Für die Darstellung benötigte Notfallregionen werden zuvor vom EMS abgerufen (4.2).

¹² Im Rahmen des Forschungsprojektes wird dieser Dienst nicht spezifiziert und umgesetzt.

¹³ Nicht dargestellt sind die Interaktionen zwischen den Komponenten eines Dienstes.

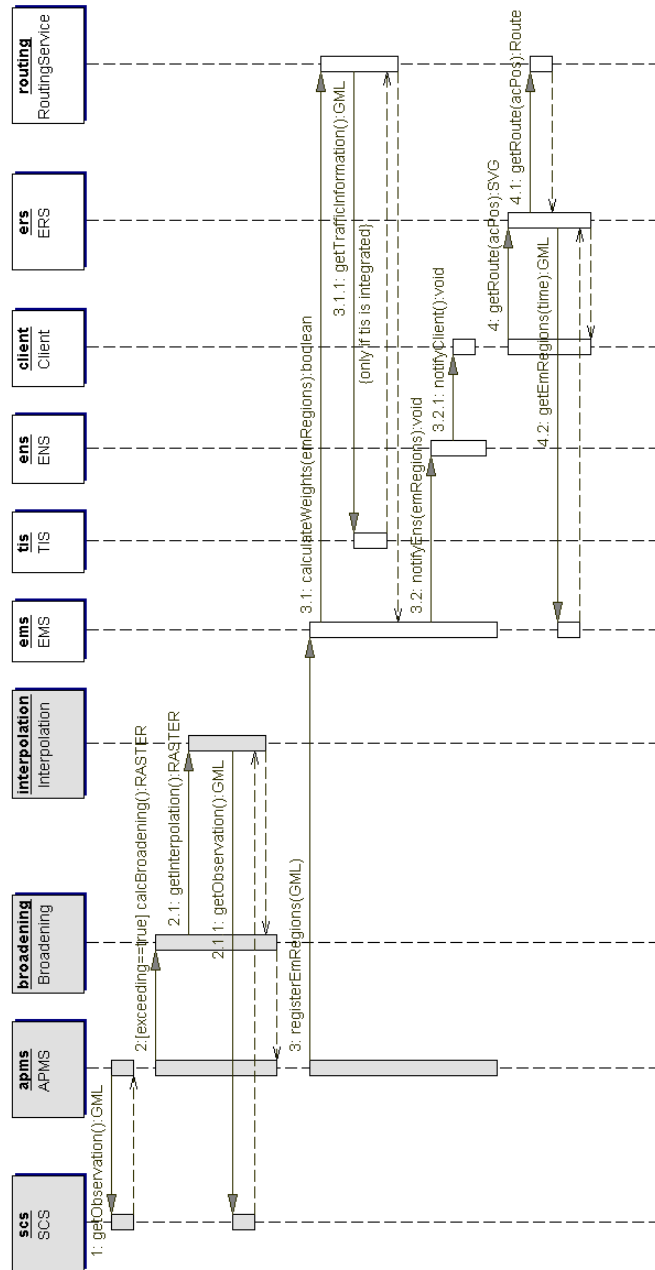


Abb. 3: Interaktionsmuster der Dienste-Kette in UML-Notation; weiß hinterlegte Knoten gehören zum allgemeinen Notfall-Management, hellgrau hinterlegte Knoten zum Anwendungsfall.

DIE ARIADNE-DIENSTE-KETTE

Nach dem im vorangegangenen Abschnitt die Architektur erläutert worden ist, sollen nun die zentralen Bestandteile der Architektur näher betrachtet werden. Im folgenden werden die Aufgaben und Funktionen der einzelnen Dienste dargestellt.

Emergency Notification Service

Das zugrunde gelegte Szenario sieht vor, dass die Notfallsituationen automatisch durch die ariadne-Dienste-Kette erkannt werden. Darüber hinaus sollen die Betroffenen über die Notfallsituation informiert werden. Die Benachrichtigung der Clients über eingetretene Störfälle erfolgt durch den ENS. Wie oben schon erwähnt, wurde der Benachrichtigungsdienst im Rahmen dieser Arbeiten nicht umgesetzt, sondern wird für Demonstrationszwecke simuliert.

In Abhängigkeit der Gefährdung des benachrichtigten Individuums durch den Störfall können bei der Benachrichtigung zwei Typen – Navigation und Evakuierung – unterschieden werden. Ist das Gefährdungspotential hoch, wird bei der Benachrichtigung der Typ Evakuierung gewählt. Dies führt dazu, dass bei dem anschließend automatisch gestellten Routing Request das ursprüngliche Fahrtziel unberücksichtigt bleibt, sondern lediglich die aktuelle Position übermittelt wird und der Betroffene auf dem kürzesten Weg aus dem Notfallgebiet herausgeführt wird. Für die Praxis ist dies beispielsweise für die Evakuierung nach Chemieunfällen relevant. Der Typ Navigation wird gewählt, wenn die Notfallregion gemieden werden soll, aber es nicht notwendig ist, sie auf dem kürzesten Weg zu verlassen. Dies wäre der Fall, wenn durch eine hohe Verkehrsbelastung Grenzwerte überschritten werden. Der Client reagiert durch einen Routing Request, in dem zusätzlich zur aktuellen Position das ursprünglich anvisierte Fahrtziel angegeben wird.

Die Benachrichtigung der Clients kann sowohl über SMS (Handy), als auch per HTTP (PC, PDA) erfolgen. Der als Reaktion gestellte Request erfolgt über das HTTP-Protokoll.

Der Client sollte im Idealfall mit Hilfe des *Global Positioning Systems* (GPS) seine aktuelle Position bestimmt haben, um das Routing mit möglichst exakten Koordinaten zu berechnen. Alternativ ist auch eine Ortung über die jeweilige Funkzelle möglich. Hierbei können jedoch die Genauigkeiten nicht berücksichtigt werden, da Funkzellen unterschiedliche große Ausdehnungen haben.

Emergency Routing Service

Der Emergency Routing Service aggregiert die Dienste des Notfall-Managements und stellt somit die Schnittstelle zwischen Notfall-Management und Benutzer her. Durch die Konzeption als Webservice besteht die Möglichkeit über das WWW interoperabel von verschiedenartigen Clients die Funktionalität zu nutzen.

Die Anfrage kann automatisiert als Reaktion des Clients auf eine Benachrichtigung durch den ENS, aber auch als konventionelle Routing-Anfrage gestellt werden. In beiden Fällen wird ein individuelles Routing auf Basis der zugehörigen Komponenten der ariadne-Dienste-Kette ermittelt. Zur Berechnung der Route wird der Routing Request an den Routing Service weitergeleitet, der auf Basis der bereits gewichteten Straßenzüge die jeweils optimale Route errechnet. Das Ergebnis des Routing Service ist eine gemäß eines spezifizierten GML¹⁴ Application Schemas codierte Notfallroute, die durch die Visualisierungskomponente des Emergency Routing Service dargestellt wird.

Die Visualisierung erfolgt, soweit als Ausgabeformat SVG gewünscht ist, auf vektorieller Basis. Dazu nutzt die Visualisierungskomponente innerhalb des Emergency Routing Service SVG. SVG ist eine XML-basierte¹⁵ Sprache, um zweidimensionale, skalierbare Grafiken zu beschreiben. Die Darstellung der Grafiken erfolgt durch sogenannte User Agents. Das sind in der Regel Browser, Browser-Plugins oder eigenständige SVG-Viewer (Pohlmann 2001–2003). SVG wurde vom W3C als Webgrafik entwickelt und im September 2001 als Standard verabschiedet (Ferraiolo 2001).

Ein für den Emergency Routing Service bedeutender Vorteil ist die von der Skalierung unabhängige Qualität der Grafik und die Möglichkeiten der Animation (Neumann und Winter 2003). Die Visualisierungskomponente fragt durch eine spezielle Komponente die darzustellenden Features ab (zum Beispiel die Notfallregionen und die angepasste Route) und fügt diese in ein vorhandenes SVG-Template ein. Bei mehreren Notfallregionen mit unterschiedlichen Zeitstempeln, werden diese animiert dargestellt. Zur besseren Orientierung werden zusätzlich topographische Daten von einem OGC-konformen Web-Map-Server abgefragt und in die Grafik eingebunden.

¹⁴ Geography Markup Language (GML), siehe Cox, Cuthbert et al. (2002)

¹⁵ Extensible Markup Language (XML)

Routing Service

Der Routing Service ist ein Webservice, der allgemeine Routing-Anfragen bearbeiten kann. Zu diesem Zweck wird ein Routing-Algorithmus genutzt, welcher nach Angabe von Start und Ziel den kürzesten Weg zwischen diesen Punkten berechnet (Dijkstra 1959). Die Gewichtung der Streckenabschnitte ergibt sich aus der für sie prognostizierten Fahrzeit. Die hier benötigten Straßendaten werden im Hintergrund in einer Datenbank vorgehalten. Innerhalb dieses Projekts werden nur Autobahnen und Bundesstraßen in NRW berücksichtigt.

Die Besonderheit dieses Services ist, dass die Gewichtungen der einzelnen Straßenabschnitte dynamisch gehalten werden kann. Hierbei dient die Ausgangsgewichtung als Basis für temporäre Gewichtserhöhungen. Eine neue (also höhere) Gewichtung gilt stets für ein bestimmtes Zeitintervall. Erreicht den Routing Service ein Request zur Gewichts-Neuberechnung, so wird die Gewichtung Straßenabschnitte oder aller Straßen innerhalb eines angegebenen Bereiches so weit erhöht, dass diese nicht bei der Routenberechnung berücksichtigt und Straßen in Störfallregionen gemieden werden. In dem vorliegenden Projekt sendet der EMS Polygone, die ein Notfallgebiet für einen bestimmten Zeitraum ausweisen.

Emergency Management Service

Die strikte Trennung der für die Behandlung des Anwendungsfalls Luftschadstoffstörfall benötigten Dienste vom allgemeinen Notfall-Management führt zu einer leichten Übertragbarkeit auf andere Anwendungsfälle und trägt somit zu einer hochgradigen Wiederverwendbarkeit der Dienste bei. Der Emergency Management Service stellt die Schnittstelle zwischen allgemeinem Notfall-Management und domänenspezifischen Diensten dar. Die vom APMS erkannten Notfallregionen und deren raumzeitliche Entwicklung (Ausbreitung) werden beim EMS registriert. Der Datenaustausch erfolgt mittels einer GML Feature Collection. Durch die Nutzung von GML 2.0 wird ein standardisierter Datenaustausch ermöglicht. Des weiteren besteht die Möglichkeit spezielle Application Schemas¹⁶ zu entwickeln, durch die Typsicherheit gewährleistet werden kann.

Bevor der EMS den Emergency Notification Service anstößt werden die Notfallregionen mit einem Sicherheitsbuffer versehen. Somit wird sichergestellt, dass die benachrichtigten Clients nicht in die Notfallregion hineinfahren während sie auf die Antwort des Emergency Routing Service warten.

¹⁶ Das Application Schema emRegions.xsd kann über folgende Adresse abgerufen werden:
<http://www.riadne.uni-muenster.de/appSchema/emRegions.xsd>

Vor der Benachrichtigung der Clients übermittelt der EMS die Notfallregionen und deren Ausbreitung an den Routing Service, damit die beim Emergency Routing Service eingehenden Routing Requests immer auf der Grundlage aktueller Daten beantwortet werden. Der Visualisierungs-Dienst fragt die für den Zeitpunkt der Berechnungen benötigte Regionen ab.

Air Pollution Management Service

Der APMS stellt die Schnittstelle zwischen Notfall-Management und domänenspezifischen Diensten dar. Die zentralen Funktionen sind:

- überwachen der Luftschadstoffkonzentrations-Daten (Observer),
- starten des Ausbreitungsmodells (Broadening) und
- registrieren der Notfallregionen mit deren Ausbreitung beim EMS.

Broadening

Um im Anwendungsfall *Luftschadstoff* ein adaptives Routing zu ermöglichen, besteht die Notwendigkeit die raumzeitliche Entwicklung der Notfallregion vorherzusagen. Dies erfolgt durch einen Dienst (Broadening) der ein Ausbreitungsmodell bereitstellt.

Ziel des Forschungsprojektes ist es, aufzuzeigen, wie ein Ausbreitungsmodell durch einen Webservice interoperabel im WWW zur Verfügung gestellt werden kann. Die Einbindung bestehender, im operationellen Einsatz befindlicher Modelle (z.B. EURAD¹⁷) ermöglichte zwar sehr gute Ergebnisse, die hohe Komplexität der Modelle führt jedoch, bedingt durch lange Einschwing- und Rechenzeiten, zu Reaktionszeiten von bis zu einem Tag. Dies ist für das Notfall-Management nicht akzeptabel. Die Verwendung eines einfachen¹⁸ Einschicht-Euler-Modells führt zu einer Komplexitätsreduktion, und somit zu einer Verkürzung der Rechenzeit. Für die Verwendung im zugrundegelegten Szenario sollte die Reaktionszeit im Bereich von ein bis zwei Minuten liegen, um eine schnelle Benachrichtigung der Betroffenen zu gewährleisten und möglichst schnell Hilfsmaßnahmen einleiten zu können. Die geringere Prognosequalität ist in sofern akzeptabel, als das im Halb-Stunden-Rhythmus eine neue Prognose gerechnet wird und die Prognosedauer vier Stunden beträgt.

¹⁷ Europäisches Ausbreitungs- und Depositionsmodell (EURAD), siehe Jakobs (o.J.), ANABEL (2002)

¹⁸ ohne Berücksichtigung chemischer Reaktionen und Abscheidungsprozessen

Interpolation

Die Interpolation soll den bestehenden räumlichen Zusammenhang optimal abbilden. Als Ansatz wird ein automatisiertes Kriging Verfahren genutzt, welches die Möglichkeit bietet, an Hand der Messwerte, ohne Korrektur durch Experten die räumliche Verteilung zu ermitteln; mit dem Ziel einer vollautomatischen Variogrammanpassung. (Hinterding 2002)

Dabei wird aus den vom SCS abgerufenen punktuellen Schadstoffbelastungen eine flächenhafte Verteilung errechnet. Durch dieses Verfahren ist eine erwartungstreue Schätzung möglich. Die Interpolation wird innerhalb der Dienste-Kette vom Broadening angestoßen, weil zur Initialisierung des Ausbreitungsmodells eine flächenhafte Verteilung der Schadstoffkonzentrationen notwendig ist (Abb. 3).

Neben der Funktionalität, die der Interpolationsdienst innerhalb der ariadne-Dienste-Kette einnimmt, ist dieser Service auch direkt ansprechbar und somit interoperabel im WWW nutzbar.

SCHLUSSBEMERKUNGEN

Durch die Entwicklungen wird exemplarisch gezeigt, wie durch die Spezifikation entsprechender Dienste Basisfunktionalitäten für das Notfall-Management interoperabel im WWW zur Verfügung gestellt werden können. Durch die Umsetzung als einzelne Webservices sind unterschiedlichste Szenarien umsetzbar; im Einzelnen könnten dies sein: Bombenentschärfung, Unwetterwarnung, Hochwasserwarnung, etc.. Neben der Nutzung der Dienste in der ariadne-Dienste-Kette können einige Dienste auch einzeln genutzt werden, so zum Beispiel der Interpolationsdienst oder der Routing Service.

Die beschriebene Architektur ist auf Grund der genutzten Standards und der Umsetzung als Webservices flexibel, das heißt sowohl erweiterbar, als auch übertragbar. Jeder beliebige Dienst, der gemäß des Application Schema kodierte Notfallregionen und deren raumzeitliche Entwicklung beim EMS registriert, kann den APMS ersetzen.

In Geodateninfrastrukturen ist die Behandlung von vertraulichen Informationen entscheidend. So dürfen nur bestimmte authentifizierte Dienste oder Personen Notfälle registrieren (Drewnak 2003).

Ein weiterer Aspekt, der in zukünftigen Arbeiten betrachtet werden muss, ist die Frage der Web-Nutzung im Katastrophenfall. Die Struktur des Internet ermöglicht es zwar auch dann noch Informationen zwischen zwei Knoten auszutauschen, wenn Teile des Netzes ausgefallen sind. Probleme erge-

ben sich jedoch durch die im Katastrophenfall entstehende hohe Netzlast, beispielweise sei hier auf den 11.09.2001 verwiesen, an dem nur schwierig auf die Webseiten der Online-Zeitungen zugegriffen werden konnte. Denkbar wären Lösungen, bei denen die Notfall-Management-Dienste in einem eigenständigen Netz, das vom Internet abgeschirmt ist, miteinander kommunizieren. Die Kommunikation der Clients könnte über entsprechende Gateways realisiert werden.

LITERATUR

- ANABEL (2002): [Hrsg.] Förderverein des Rheinischen Instituts für Umweltforschung an der Universität zu Köln e.V. *Abschlußbericht zum FuE-Vorhaben: Ausbreitungsrechnungen für Nordrhein-Westfalen zur Anwendung im Rahmen der BEurteilung der Luftqualität nach EU-Richtlinien* (ANABEL), Köln.
- ariadne (o.J.): *ariadne – Notfall-Management-System*. Online unter: <http://www.ariadne.uni-muenster.de/> (abgerufen am 09.03.2003).
- Buehler, K., L. McKee (1998): *The OpenGIS Guide – Introduction to Interoperable Geoprocessing and the OpenGIS Specification*, Wayland. Online unter: <http://www.opengis.org/techno/guide/guide/Guide980629.pdf> (abgerufen am 15.11.2002).
- Dijkstra, E. W. (1959): *A Note on Two Problems in Connection with Graphs*. In: *Numerische Mathematik*, Vol.1: 269-271.
- Drewnak, J. (2003): *Authentifizierung und Autorisierung in Geodateninfrastrukturen am Beispiel der GDI NRW*. Münster. (= unveröffentlichte Diplomarbeit am Institut für Geoinformatik der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster).
- EU [Hrsg.] (1996): *Richtlinie 96/62/EG des Rates vom 27. September 1996 über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität* (Amtsblatt der Europäischen Gesellschaft Nr. L 296 vom 21.11.1996): 0055 – 0063.
- EU [Hrsg.] (1999): *Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft*. (Amtsblatt der Europäischen Gesellschaft Nr. L 163 vom 26.09.1999): 0041 – 0060.
- Ferraiolo, J. (2001): *Scalable Vector Graphics (SVG) 1.0 Specification* Online unter: : <http://www.w3.org/TR/SVG/> (abgerufen am 05.05.2003).

- Hanke, S. (2002): *Untersuchung zur Nutzung und Aktualisierung raumbezogener Daten im Katastrophenmanagement*. Kiel. (=Dissertation an der Christian-Albrechts-Universität Kiel).
- Hinterding, A. (2002): *Entwicklung hybrider Interpolationsverfahren für den automatisierten Betrieb am Beispiel meteorologischer Größen*. Münster. (=Dissertation am Institut für Geoinformatik der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster).
- Jakobs, H. (o.J.): *Beschreibung des Vorhersagesystems*. Online unter: <http://www.db.eurad.uni-koeln.de/prognose/description.html> (abgerufen am 2.5.2003).
- LUA (Landesumweltamt NRW) [Hrsg.] (2001): *Luftqualität in Nordrhein-Westfalen – LUQS-Jahresbericht 1999*. Essen.
- McCarty, T. (2002): *OGC Web Services – Sensor Collection Service DIPR Version 0.7.0*, o.O.
- Neumann, A., A. M. Winter (2003): *Kartographie im Internet auf Vektorbasis, mit Hilfe von SVG*. Online unter: www.carto.net/papers/svg/index_d.html (abgerufen am 05.05.2003).
- Percivall, C. (2002): *The OpenGIS abstract specification. Topic 12: OpenGIS Service Architecture, Version 4.3*, Wayland. Online unter: <http://www.opengis.org/techno/abstract/02-112.pdf> (abgerufen am: 12.02.2003).
- Pohlmann, R. (2001-2003): *SVG Tutorial Version 1.0*. Online unter: <http://svg.tutorial.aptico.de/> (abgerufen am: 05.05.2003).
- Cox, S., A. Cuthbert, R. Lake & R. Martell (2002): *Geography Markup Language (GML) Version 2.1.2. (=Implementation Specification)*. Online unter: <http://www.opengis.net/gml/02-069/GML2-12.html> (abgerufen am: 15.11.2002).