

Modellierung verbal repräsentierter Geoinformation zur Lagekartenführung im Katastrophenmanagement

Christian Lucas

Zusammenfassung

Um die formale Integration sprachlicher Information in Geoinformationssysteme (GIS) zu verbessern wurde eine Methodik zur Überführung verbal repräsentierter räumlicher Zusammenhänge in eine graphische Darstellung entwickelt. Dies geschah am Beispiel der raumbezogenen Auswertung freitextlicher Meldungen von Schadensereignissen im Katastrophenmanagement. Es zeigte sich, dass eine solche Überführung flexible Modellierungsstrukturen sowie eine adäquate Wissensrepräsentation verlangt, wie sie eine entsprechende Ontologie bietet. Zudem war ein Modell zu formulieren, welches die enthaltene räumliche Unschärfe funktional repräsentiert. So wurde ein weitgehend possibilistisches Verfahren entwickelt, was dies ermöglicht.

Summary

To improve the formal integration of verbally given spatial information in a GIS (geographical information system), a methodology was developed for converting such information to a graphical representation. This was applied to examples of a spatial-related analysis of natural language text messages in the disaster management domain. For such a conversion flexible modeling structures as well as an adequate knowledge representation are required. Those structures are provided by the developed disaster management data model (DM²), an ontology supported knowledge base. Moreover, a formal representation based on possibility theory was defined to handle the contained spatial uncertainty adequately.

1 Einleitung

Im Katastrophenmanagement sind aktuelle Informationen Voraussetzung für effektives und zielgerichtetes Handeln der verantwortlichen Entscheidungsträger. Ein aktuelles Lagebild ist damit essentiell für die optimale Koordinierung jedes Einsatzes sowie für die Verteilung der zur Verfügung stehenden Ressourcen. Zudem ist die Führung der Einheiten ein äußerst dynamischer Vorgang, der einen sich wiederholenden Regelkreis aus Lagefeststellung, Planung und Befehlserhebung bildet (vgl. DV 100, (SKK 1999)). Die wichtigste Grundlage für die Lagefeststellung schaffen dabei Meldungen, welche ein Mitarbeiter des Führungsstabes manuell auswertet, um mit der so gewonnen Information die Lagedarstellung fortzuführen. Diese Lagedarstellung besteht aus einer stets aktuell zu haltenden Lagekarte sowie aus Einsatzübersich-

Feuerwehrnotruf – Ja hallo, hier ist [...], in der Elberstraße raucht es ganz schwarz aus einem Mehrfamilienhaus, und zwar Haltestelle Elberstraße direkt neben dem Hotel. – **Sagen Sie mir bitte eine Hausnummer in der Elberstraße?** – Oh, ich bin hier nur Fahrgast. – **Das ist hier die Elberstraße in Karlsruhe?** – Die Haltestelle Elberstraße, nebendran ist ein Hotel und da raucht es ganz schwarz ... – **Wie heißt denn das Hotel?** – Wie heißt denn das Hotel? Ich lauf mal ob ich es lesen kann. Also es kommt richtig aus diesem Fenster schwarzer Rauch raus. – **In welchem Fenster, wo kommt das raus?** – Also der Stock ist Erdgeschoss, eins, zweiter Stock und aus dem zweiten Stock kommt schwarzer Rauch raus, richtig kräftig und das Hotel heißt Vogel, Hotel Vogel. – **Hotel Vogel?** – Ja, direkt neben dran ist das Haus. – **Gut.** – Wird immer stärker der schwarze Rauch, da ist bestimmt was Heftiges. – **Und Hausnummer haben Sie keine, ... Höhe etwa?** – Also ich sehe ... Moment mal ... ich guck mal. Wenn die Bahn weg ist sehe ich die Hausnummer. – **Ja.** – Das ist ah ... da steht ja gar nichts. Ich sehe keine Nummer. Ah, neben der 5, dann ist es die 3. – **3.** – Aber es wird immer schwärzer ... – **Jawohl, Hausnummer 3 [...]**

Abb. 1: Mitschrift einer Notrufmeldung, eingegangen in der Feuerwehrleitstelle Karlsruhe; Straßen- und Hotelnamen geändert. Anrufer: kursiv, Feuerwehrleitstelle: fett

ten mit tabellarischer Auflistung der Einsatzkräfte und Schäden. Da bei Großschadensereignissen eine Vielzahl von Meldungen, sowohl von den Einsatzkräften als auch von Passanten eingehen, liegt eine Automatisierung der Lagekartenführung nahe. Problematisch dabei ist sowohl unscharfe als auch vage Information über das Ereignis, insbesondere aber über dessen Lokalisierung.

Abb. 1 veranschaulicht dieses Problem anhand der Mitschrift einer bei der Feuerwehrleitstelle Karlsruhe eingegangenen Meldung eines Brandereignisses. Darin beschreibt ein ortsfremder Passant anhand von Bezugsobjekten (Relata, Einzahl Relatum), wie einem *Hotel*, und unter Nutzung räumlicher Relationen, wie *neben*, das Ereignis bzw. dessen Position.

Zur automatisierten Verarbeitung dieser verbal repräsentierten Geoinformation ist es in einem Vorverarbeitungsschritt nötig, die relevante Information zu extrahieren und somit die Meldung zu formalisieren. Die Nutzung herkömmlicher Informationsextraktionskomponenten, wie dem am Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) entwickelten SMES (Saarbrücker Message Extraction System (Neumann et al. 1997)) kommt

jedoch nicht in Frage. Grund dafür ist, dass die Meldungen in der Regel in Stresssituationen verfasst werden und somit der Sprachgebrauch sehr variiert, teils sogar grammatikalisch inkorrekt ist (vgl. Abb. 1, (Lucas et al. 2007)). Um die Information der Verarbeitungskomponente dennoch weitgehend automatisiert zur Verfügung zu stellen, wurde eine Eingabemaske entwickelt (vgl. Abb. 2 links), die es ermöglicht, den Informationsgehalt einer Meldung

auf (vgl. Abschnitt 4), welches es einerseits ermöglicht, räumliche Relationen, wie *nahe*, im vorgegebenen Skalenbereich funktional zu beschreiben und zum anderen die funktionalen Abhängigkeiten der Einflusssterme charakterisiert. Abschließend wird dieses funktionale Modell anhand realer verbaler Beschreibungen räumlicher Konstellationen verifiziert (vgl. Abschnitt 5) und der entwickelte Prototyp *Seneca* vorgestellt (vgl. Abschnitt 6).

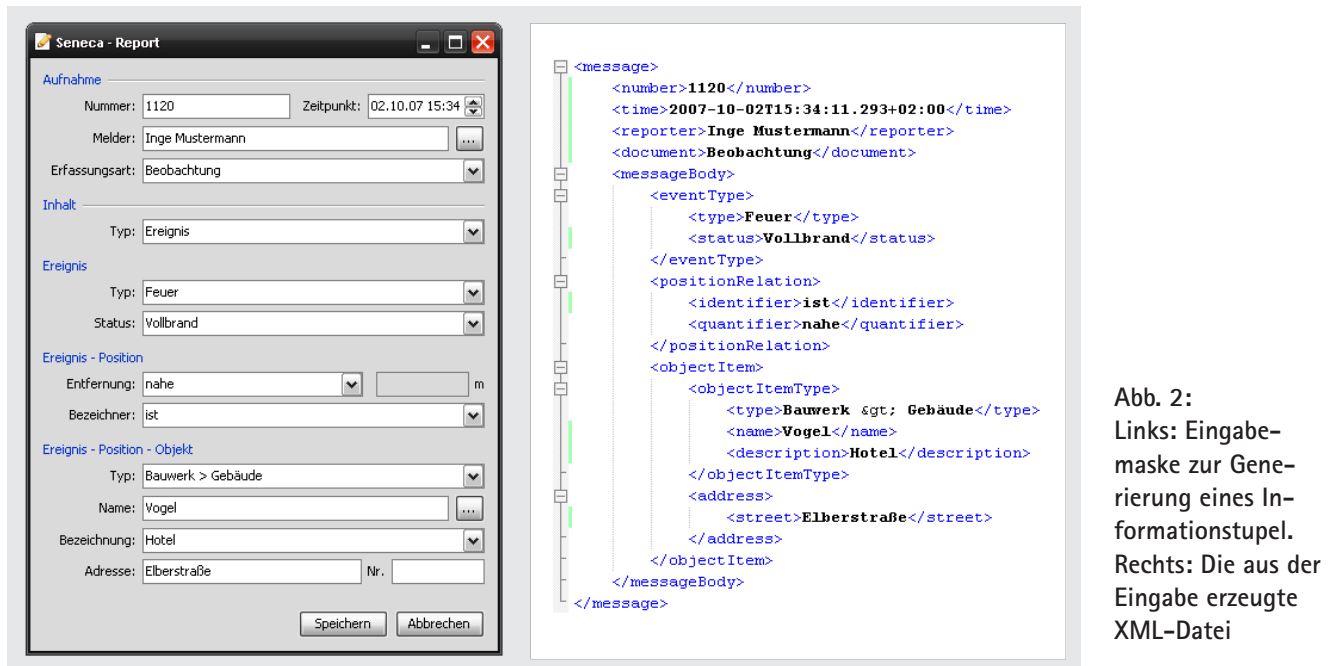


Abb. 2:
Links: Eingabe-
maske zur Gene-
rierung eines In-
formationstupel.
Rechts: Die aus der
Eingabe erzeugte
XML-Datei

in einem Informationstupel zu bündeln. Dieses Tupel (im weiteren Faktum genannt) bündelt Zeitpunkt, Melder, Erfassungsart, Event und den Raumbezug einer Meldung. Daraus wird eine XML-Datei (Extensible Markup Language) generiert (vgl. Abb. 2 rechts), welche im Folgenden der Verarbeitung zur Verfügung steht. Dabei ist das der erzeugten XML-Datei zugrunde liegende Schema (XSD) nahe dem für Informationsextraktionskomponenten gängigen Ausgabeschema gewählt. Der zusätzliche Schritt des Ex- und Importes eines Faktums im XML-Format wurde umgesetzt, um künftig die Nutzung einer automatischen Informationsextraktion zu ermöglichen, sowie den Meldungsverlauf lückenlos zu dokumentieren.

Die der verbalen Repräsentation inhärente Abstraktion bedingt zudem widersprüchliche und fehlende Information, welche durch Hintergrundwissen, Bedingungen (sog. Constraints) und heuristische Annahmen weitgehend ersetzt werden kann. Möglichkeiten zu einer adäquaten Wissensrepräsentation und -verarbeitung bieten Wissensmanagementsysteme. In Abschnitt 2 wird die Entwicklung und Nutzung einer Ontologie zur semantisch korrekten Wissensverarbeitung und -modellierung eingehend erläutert. Davon ausgehend legt Abschnitt 3 den vorwiegend possibilistischen Bewertungsansatz schematisch dar. Dieser baut auf einem funktionalen Modell

2 Wissensbasis

Zwingend für eine automatisierte Verarbeitung ist eine adäquate Modellierung des notwendigen Domänenwissens. Dabei handelt es sich um eine formale Repräsentation sowohl des aktuellen Zustandes als auch des Wissens über mögliche Veränderungen dieses Zustandes. Umgesetzt wird dies ontologisch durch die Definition von Begriffen und deren Relationen. Begriffe werden alternativ auch als Klassen bezeichnet und die Instanzen dieser Klassen als Objekte. Eine Ontologie ist dabei immer auf die Gesamtheit aller Objekte beschränkt, die sie zu repräsentieren vermag, das sogenannte Diskursuniversum (Gruber 1993). Die Semantik ergibt sich aus den Objekten sowie ihren strukturellen Beziehungen und wird durch deren eindeutige Beschreibung sowie die einzuhaltenden Restriktionen definiert.

Aufgrund der Nähe der Domänen des Katastrophenmanagements und des Militärs konnte auf bestehende Modellierungsstandards als Ausgangspunkt zurückgegriffen werden. Das *Command and Control Information Exchange Data Model* (C2IEDM, (MIP 2005)) diente dem standardisierten Informationsaustausch zwischen Streitkräften und Bündnispartnern auf Führungs- und Leitungsebene der NATO. Dieses umfangreiche Datenmodell stellt eine beidseitig bedeutungsgleiche, herkunftsunabhängige Datenmodellierung mit dem Ziel der barrierefreien

Kommunikation sicher. Jedoch unterliegt das C2IEDM einer sehr starken Ressourcen- und Kommunikationsorientierung, was bei der gegenwärtig verfolgten Zielsetzung eine untergeordnete Rolle spielt. Im Gegenzug waren jedoch Aspekte der Speicherung, der Bereitstellung sowie der Prozessierung von Informationen in einem stärkeren Maße zu berücksichtigen. Letztlich unterscheidet sich das Diskursuniversum des Katastrophenmanagements maß-

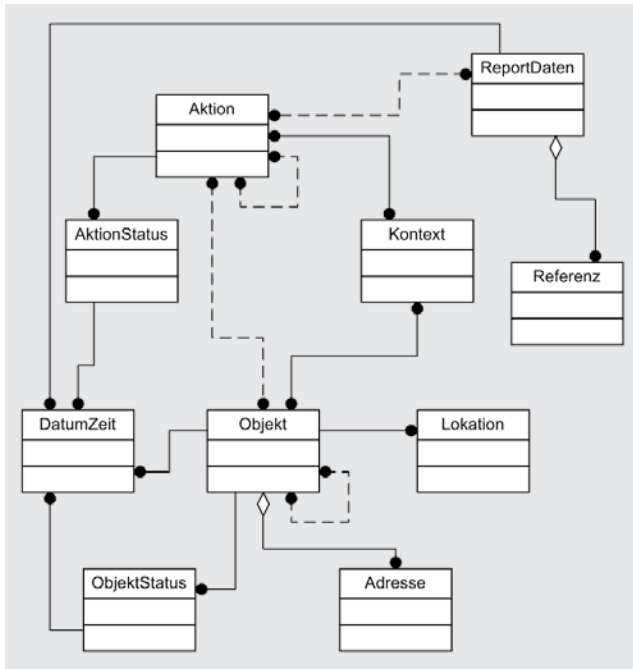


Abb. 3: Unabhängige Basisklassen des DM² (IDEF1X Notation)

geblich vom militärischen, was dazu föhrt, dass bei der Entwicklung des *Desaster Management Daten Modells* (DM²) von einer konzeptionellen Nähe zum C2IEDM gesprochen werden kann (Lucas und Werder 2008).

Abb. 3 zeigt sowohl die Superklassen des DM² als auch deren Relationen in IDEF1X Notation (Integration Definition for Information Modeling Extended). Diese Superklassen besitzen jeweils Subklassen unterschiedlicher

Tiefe, in welchen die Objekte instanziiert werden. So enthält beispielsweise die Superklasse *Aktion* eine Subklasse *Ereignis*, die ihrerseits wiederum sieben Subklassen möglicher Ereignisse umfasst. Darunter ist die Klasse *Feuer*, welche durch konkret gemeldete Feuer beliebig oft instanziiert werden kann und die Klasseneigenschaften erbt. Eine im DM² fest definierte Eigenschaft eines Feuers ist beispielsweise, dass es ein Objekt betreffen muss, jedoch nur eine bestimmte Art von Objekten betreffen kann. Das bedeutet im Gegenzug, dass diese Objekte die dazu inverse Eigenschaft besitzen, brennbar zu sein. Abb. 3 kann ferner entnommen werden, dass ein Feuer als Instanz einer *Aktion* keine direkte Relation auf die Superklasse *Lokation* besitzt. Dem entsprechend erfolgt die Lokalisierung eines Feuers über das betroffene Objekt. Dies entspricht einer semantisch korrekten Modellierung des Ereignisses und vermeidet zudem Widersprüche. Ein weiteres Merkmal des DM² ist die Möglichkeit, alle dynamischen Ereignisse zeitlich datieren zu können. Dynamik entspricht somit lediglich der Statusänderungen bestehender Objekte. So bewirkt beispielsweise das Löschen eines Feuers nur eine Änderung des Status von *Vollbrand* auf *Gelöscht*. Damit ist eine zeitliche Dokumentation veränderlicher Abläufe gegeben, wie auch die Möglichkeit, Sachverhalte bezüglich Ihrer Aktualität zu bewerten (vgl. Abschnitt 4.2). Die Superklasse *ReportDaten* ermöglicht es, Fakte (i. S. v. Informationstupel) in die Wissensbasis einzufügen. Dabei erlaubt die Klasse *Referenz* die Bündelung aller zu einem Ereignis abgegebenen Meldungen und somit den Aufbau eines Meldungskontextes. Kontextbetrachtungen auf Ebene der Ereignisse hingegen gestattet die Superklasse *Kontext*. Dadurch lassen sich räumliche Abhängigkeiten frühzeitig erkennen und zur Auswertung nutzen.

3 Bewertungsansatz

Bewertet werden Objekte possibilistisch dahingehend, inwieweit ihre Lage dem durch die verbale Relation aufge-

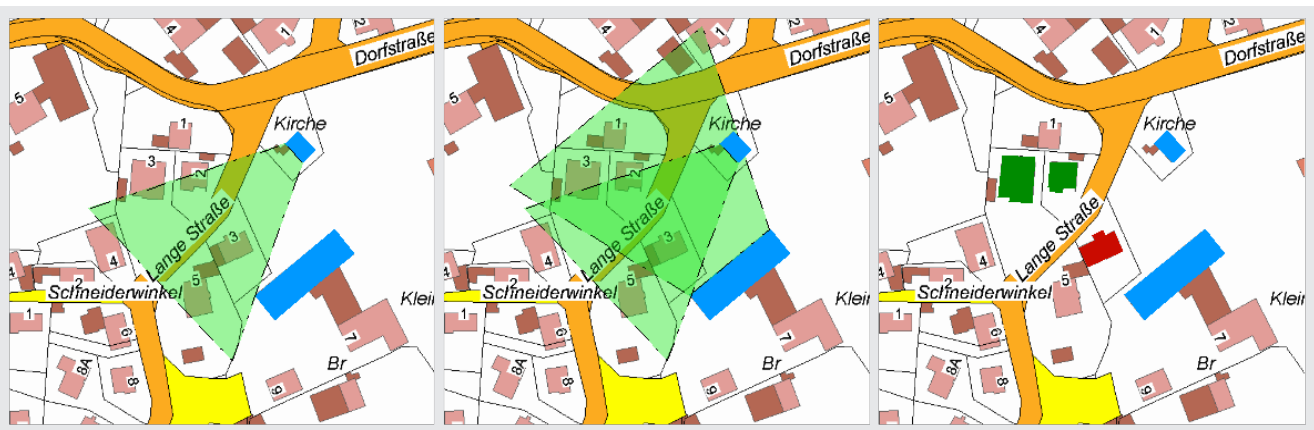


Abb. 4: Links: Schematische Darstellung des Bewertungsansatzes nach Betrachtung eines Faktums (Relatum: blau, Möglichkeitsraum: grün). – Mitte: Bewertung nach Betrachtung eines zweiten Faktums. – Rechts: Die resultierenden Objektbewertung (hohe Bewertung: rot, niedrige Bewertung: grün)

spannten Möglichkeitsraum entspricht. Zusätzliche Einflussparameter werden dabei durch die Rahmenumstände des abgegebenen Faktums bestimmt, so beispielsweise die Art der Beobachtung (Vermutung, Aussage Dritter) oder die Person des Meldenden (Passant, Experte), welche entsprechend der Dienstvorschrift 100 (DV 100, (SKK 1999)) bei der Auswertung zu berücksichtigen sind.

Abb. 4 skizziert diesen räumlichen Bewertungsansatz an einem konkreten Beispiel. Initialsituation ist die Meldung *links neben der Kirche*. Beginnend werden aus der Ontologie alle als Kirche definierten Objekte selektiert, da diese das Relatum darstellen. Ausgehend von der jeweiligen Gebäudevorderseite wird nun der Möglichkeitsraum der Relation *links neben* aufgespannt (Abb. 4 links). In einem zweiten Schritt wird dies entsprechend für eine zweite Meldung (*hinter der Lagerhalle*) durchgeführt (Abb. 4 Mitte). Basierend auf sich überschneidenden Möglichkeitsräumen ist nun eine Bewertung der sich darin befindlichen Objekte ableitbar. So entspricht das in Abb. 4 (rechts) dargestellte rote Gebäude beiden Relationen vollkommen, die grün dargestellten Gebäude hingegen nur teilweise. Bei mehrdeutigen Objekten bzw. Objektbezeichnungen (wie Kirche), werden alle Fälle bewertet (sog. Brute-Force Ansatz). Dies basiert auf der Annahme, dass sich durch künftige Informationen (Meldungen) nur eine plausible Lösung durchsetzen wird. Eine solche Spezifikation ist im vorliegenden Beispiel durch die zweite Meldung gegeben.

4 Funktionales Modell

Um die automatische Bewertung entsprechend Abschnitt 3 durchführen zu können ist es notwendig, die Abhängigkeiten aller Einflussfaktoren funktional zu definieren. Dies wurde durch die Formulierung eines allgemeinen funktionalen Modells ermöglicht, welches die Bewertung eines räumlichen Objektes $O(\vartheta)$ hinsichtlich der Relevanz für einen gemeldeten Fakt beschreibt:

$$O(\vartheta) = f(S(\vartheta), T(\vartheta), H(\vartheta), E(\vartheta), M(\vartheta)) \quad (1)$$

mit

ϑ : textuell beschriebenes Informationstupel (Faktum)

f : Funktion, welche die Abhängigkeiten beschreibt

$S(\vartheta)$: räumliche Unschärfe des Faktums

$T(\vartheta)$: temporale Gültigkeit des Faktums

$H(\vartheta)$: Unsicherheit eines Faktums gestützt durch die Häufigkeit (Redundanz)

$E(\vartheta)$: Unsicherheit eines Faktums basierend auf der Erfassungsart

$M(\vartheta)$: Unsicherheit eines Faktums basierend auf dem Melder

4.1 Räumliche Unschärfe

Die in den Meldungen enthaltene räumliche Unschärfe ist differenziert zu betrachten. Zum einen kann sie auf einem mangelnden räumlichen Verständnis des Meldenden begründet sein, und zum anderen resultiert sie aus der Beschreibung genutzten Termini. Diese Termini können unterteilt werden in qualitative Distanzrelationen (*in der Nähe von*), quantitative Distanzrelationen (*200m entfernt von*) und in qualitative Richtungsrelationen, welche sowohl absolut (*östlich von*) wie auch relativ (*links von*) sein können. Um diese räumlichen Relationen funktional ausdrücken zu können, wurde eine Erhebung zur raumkognitiven Wahrnehmung meldender Personen (mentales Modell) durchgeführt (Egenhofer und Mark 1995). Dabei haben Passanten ihnen bekannte räumliche innerstädtische Szenen unter Nutzung der Entfernungsklassen [nah, mittel, fern] sowie der Orientierung gegen Nord beschrieben. Zudem waren die absoluten Distanzen der Gebäude in Metern abzuschätzen.

Abb. 5 (links) zeigt die Häufigkeit (normiert) der Nutzung der entsprechenden Entfernungsrelation unter Abhängigkeit der wahren Distanz zum Relatum. Dabei ist eine Abnahme der Häufigkeit der Nutzung der Relation *nah* mit zunehmender Distanz zu erkennen. So wird von 30 Befragten ein Gebäude in einer Entfernung von 72 Metern als *nah* bezeichnet, ein Gebäude in einer Entfernung von 234 Metern jedoch nur von acht Befragten. Ausgehend von dieser Verteilung wurde eine Approximation über eine Minimierung des quadratischen Fehlers auf die Gauß'sche Funktion

$$y = \sum_{i=1}^n a_i \times e^{\left(-\frac{(x-b_i)^2}{c_i}\right)} \quad (2)$$

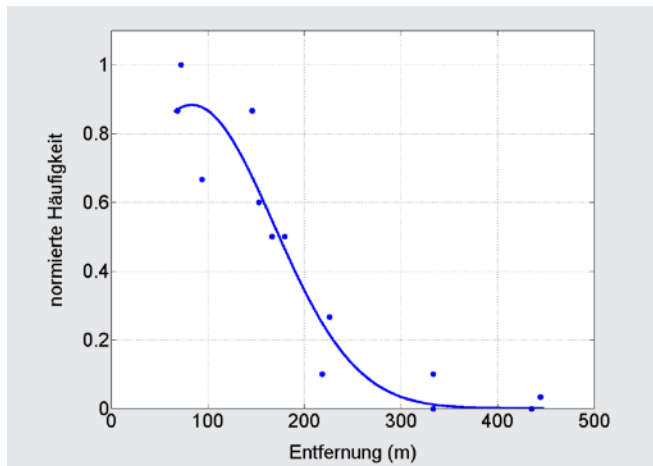
berechnet (vgl. Abb. 5 links). Diese diente unter Berücksichtigung der Approximationen der Verteilungen *mittel* und *fern* zur Ableitung der Zugehörigkeitsfunktionen, hier exemplarisch für die Relation *nah* (vgl. Abb. 5 rechts),

$$\mu_{nah} = \min \left(1, \max \left(\frac{-d}{100} + 2, \frac{3}{2} \times e^{\left(-\frac{\left(\frac{d-30}{7}\right)^2}{7}\right)} \right) \right), \quad (3)$$

dargestellt. Ähnlich wurde beim Ableiten der quantitativen Distanzrelationen, wie auch der qualitativen Richtungsrelationen vorgegangen (vgl. Abb. 6). Ausgangspunkt für die Ableitung einer entfernungsabhängigen Zugehörigkeitsfunktion bildete die Standardabweichung der jeweiligen Distanzschätzung. Zudem wurde ein als systematisch und signifikant erkannter Schätzfehler berücksichtigt. So wurden Distanzen kleiner 190 Meter zu

lang und Distanzen größer 190 Meter zu kurz geschätzt. Diese beiden Einflüsse (Standardabweichung w , Schätzfehler h) sind in der Zugehörigkeitsfunktion durch Wegkostenfunktionen berücksichtigt:

$$\mu_{\text{distanz}} = e^{\left(\frac{-((w \times d) - h)^2}{15} \right)} \quad (4)$$



Eine Kombination der entsprechenden Entfernungs- und Richtungsrelationen im Sinne von *250 Meter östlich* wird durch eine parametrisierte trianguläre Norm erreicht (Biewer 1997):

$$T_y = 1 - \min \left(1, \sqrt[{\delta}]{(1 - \mu_A)^{\delta} + (1 - \mu_B)^{\delta}} \right) \quad (5)$$

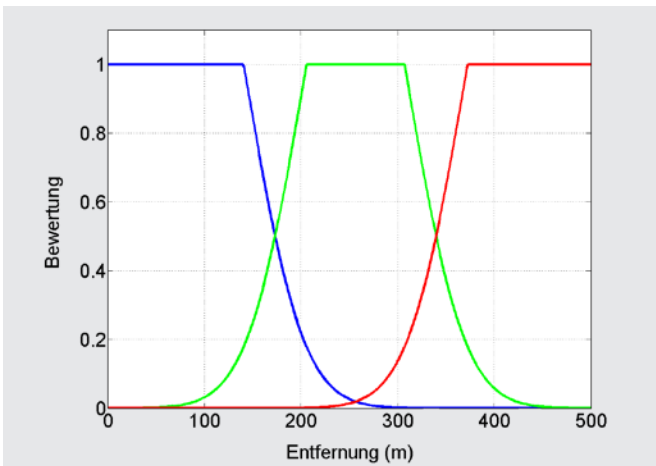


Abb. 5: Links: Häufigkeit (normiert) der genutzten Entfernungsrelation in Abhängigkeit zur wahren Entfernung. – Rechts: Abgeleitete Zugehörigkeitsfunktionen (blau: nah, grün: mittel, rot: fern)

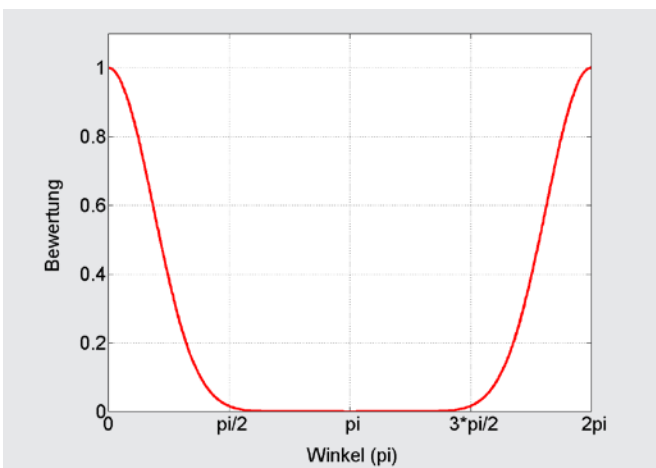
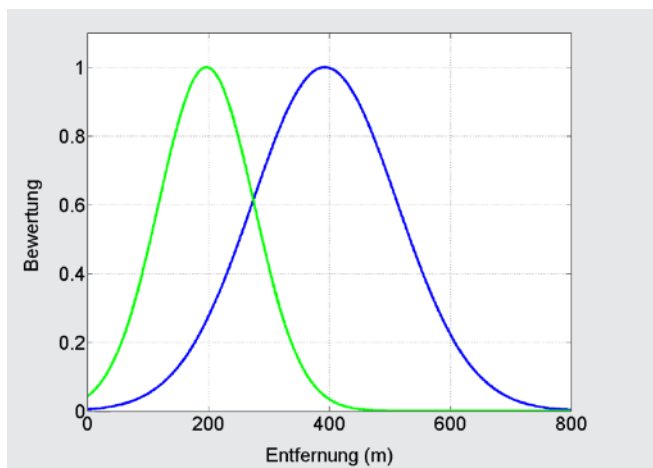


Abb. 6: Links: Bewertungsfunktion der quantitativen Distanzrelationen 200 m (grün) und 450 m (blau). – Rechts: Bewertungsfunktion qualitativer Richtungsrelationen (rot)

Damit wird eine Bewertung ermöglicht, die sich stetig über den gesamten Wertebereich erstreckt und die die der Schätzung entsprechende Standardabweichung auf einer Bewertungshöhe von 0,1 repräsentiert. Abb. 6 (links) zeigt dieses Verhalten exemplarisch für die funktionale Darstellung der Relationen *200 Meter* (grün) sowie *450 Meter* (blau).

Den Ausgangspunkt der Ableitung einer Bewertungsfunktion für qualitative Richtungsrelationen bildeten die Residuen aller Richtungsschätzungen im Wertebereich von 0 bis 2π , die ebenfalls durch eine Gaußfunktion approximiert wurden. Abb. 6 (rechts) stellt die resultierende Bewertungsfunktion dar, mit 0 bzw. 2π als Zielrichtung.

Diese gestattet es, einen zweidimensionalen Möglichkeitsraum aufzuspannen, der strenggenommen in einer dritten Dimension die entsprechende Bewertungshöhe im Konfidenzintervall von 0 bis 1 repräsentiert. Der Parameter δ erlaubt dabei eine Regulierung der Kombinationsgewichtung im Sinne der Zielvorstellungen. Eine weitere Kombinationsmöglichkeit räumlicher Relationen ist die kumulative Nutzung zweier räumlicher Beschreibungen. Dabei wird eine erste räumliche Relation vom Meldenden genutzt, um sich selbst unscharf zu positionieren, um darauf aufbauend mit der Nutzung einer weiteren Relation das Ereignis zu positionieren. Eine Kombination der Möglichkeitsräume erfolgt dabei durch mathematische Faltung

$$\mu_K = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} K(m,n) \times I(x-m, y-n), \quad (6)$$

wobei der Faltungskern K der unscharfen Positionierung des Meldenden entspricht. Ausgehend vom Kern wird nun die Zielrelation I mathematisch in den Raum gefaltet. Abb. 7 stellt den Möglichkeitsraum der kumulativen Relation 250 Meter östlich vom Relatum als Standort (Kontur-

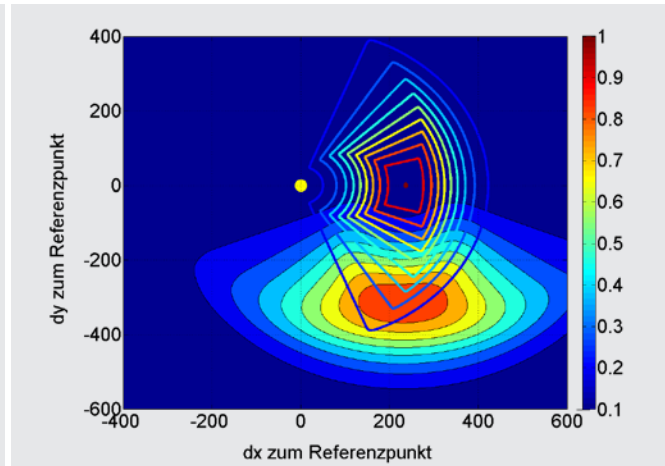
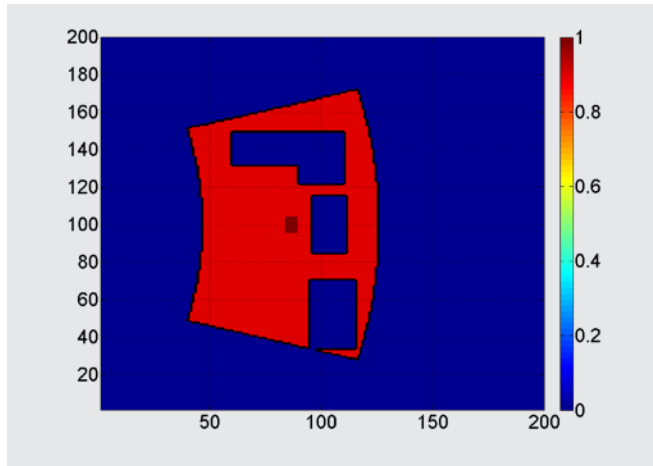


Abb. 7: Links: Um »unmögliche« Standorte bereinigter Möglichkeitsraum des Faltungskerns. – Rechts: Möglichkeitsraum der Kernrelation (Konturlinien) sowie der Zielrelation (Regionen) im relativen Koordinatensystem (Relatum: gelber Punkt).

linien, rechts) und davon 350 Meter südlich (Regionen, rechts) als Ereignisposition dar.

Dabei werden jedoch, wie Abb. 7 (links) zeigt, einzig höchst mögliche Standorte berücksichtigt. Das bedeutet »unmögliche« Standorte wie beispielsweise Gebäude werden aus dem Möglichkeitsraum ausgestanzt, wie auch Standorte mit einer geringen Möglichkeit (kleiner 0,9). Mit diesem Vorgehen kann die Berechnung zügiger gestaltet werden, da es verfahrensbedingt zu einer kombinatorischen Explosion bei der Berechnung der Zielrelation basierend auf dem Faltungskern kommt.

4.2 Resultierende Unsicherheiten und temporale Gültigkeit

Entsprechend Abschnitt 3 sind bei der Bewertung eines Faktums diverse Parameter zu berücksichtigen. Diese numerisch festzulegen ist teils schwierig, da deren Einfluss nur bedingt funktional erfassbar ist. Vielmehr beruht die Bewertung auf der Erfahrung des Lagekartenföhrers. Dem entsprechend wurden die Parameter in enger Absprache mit erfahreinem Stabspersonal der Branddirektion Karlsruhe wie auch der AKNZ (Akademie für Krisenmanagement, Notfallplanung und Zivilschutz) definiert. Die Bewertung erfolgt im Konfidenzbereich von 0 bis 1, wobei 0 kein Vertrauen bzw. Glauben und 1 vollkommenes Vertrauen ausdrückt.

So erhält die Meldung eines Experten ein Vertrauen von 1, die eines Passanten jedoch nur eine Glaubwürdigkeit von 0,9. Ähnlich verhält es sich bei der Erfassungsart. Eine eigene Beobachtung erhält ein Vertrauen von 1, die Aussage eines dritten erhält eine Glaubwürdigkeit von 0,9 und eine Vermutung fließt mit einem Glauben von 0,8 ein. Die temporale Gültigkeit hingegen ist stetig zu definieren und sichert die Bewertung gegen

inaktuelle Fakte ab. Funktional wird sie repräsentiert durch

$$\mu_T = \min \left(1, \frac{3}{2} \times e^{\left(\frac{-\left(\frac{t}{40} - 0,825 \right)^2}{5} \right)} \right). \quad (7)$$

Ein Faktum zählt demnach 90 Minuten als hochaktuell und wird folgend mit zunehmender Zeit abgewertet. Nach etwa 240 Minuten zählt eine Meldung als vollkommen inaktuell und besitzt keine Gültigkeit mehr.

4.3 Funktionale Abhängigkeiten

Um die Bewertung eines Objektes $O(i)$ bezüglich eines Faktum in einem Wert bzw. Intervall auszudrücken, sind die funktionalen Abhängigkeiten des Modells zu definieren. Zudem ist die Transformation der Zugehörigkeitsfunktionen in Possibilitätsverteilungen notwendig, um Possibilitätsmaße ableiten zu können. Dies geschieht über die unscharfe Restriktion $R(X, \omega)$ einer Variablen X , die der Possibilitätsverteilung π_X über der Grundmenge Ω gleichgesetzt wird. Da unscharfe Restriktionen unscharfe Teilmengen sind, die den Wertebereich einer Variablen einschränken, sind Possibilitätsverteilungen über die Zugehörigkeitsfunktion dieser unscharfen Teilmenge defi-

niert. Das Possibilitätsmaß $\Pi(A)$ bestimmt sich über (Dubois und Prade 1988):

$$\Pi(A) = \sup_{\omega \in \Omega} \min\{\mu_A(\omega), \pi_X(\omega)\}. \quad (8)$$

Dieses Possibilitätsmaß misst den Grad, mit dem ein Objekt mit der Possibilitätsverteilung konsistent ist, also im vorliegenden Fall dessen Möglichkeit. Das ebenfalls von Dubois und Prade (1988) eingeführte Notwendigkeitsmaß $N(A)$ hingegen misst die Sicherheit, dass ein Objekt mit der Possibilitätsverteilung konsistent ist, über die Möglichkeit, mit der es zur Komplementärmenge gehören könnte. Bestimmt wird die Notwendigkeit im vorliegenden Fall über:

$$N(A) = \max\left(\inf_{\omega \notin \Omega} \{1 - \mu_A(\omega)\}, \inf_{\omega \notin \Omega} \{1 - \pi_X(\omega)\}\right). \quad (9)$$

Ausgehend von diesen Unscharfen-Maßen (engl. Fuzzy-Measure) wird der funktionale Zusammenhang der Einflusssterme des Modells bestimmt. Dabei wird jedoch zwischen den sich aus dem Faktum ergebenden Parametern sowie den sich aus der Rahmensituation ergebenden Parametern unterschieden. Konkret bedeutet dies, dass in einem ersten Schritt die funktionale Abhängigkeit zwischen der Person des Meldenden $\Pi(m)$, der Erfassungsart $\Pi(e)$, der räumlichen Unsicherheit $\Pi(s)$ sowie der Zeit $\Pi(t)$ durch die Produktnorm (algebraisches Produkt (Zadeh 1965))

$$\Pi(o) = \prod_{i=1}^n \Pi_i \quad (10)$$

bestimmt sind. Die Häufigkeit, die sich erst aus dem Meldungsverlauf ergibt, wird in einem zweiten Schritt durch einen mittelnenden Operator, das generalisierte Mittel, definiert (Dyckhoff und Pedrycz 1984):

$$\Pi(O_i) = \left(\sum_{i=1}^n w_i \Pi(O_i)^r \right)^{\frac{1}{r}}. \quad (11)$$

Als Resultat lässt sich durch $\Pi(O)$ und $N(O)$ ein Intervall bestimmen, welches objektscharf die Wahrscheinlichkeit einschließt. Das ist der Fall, da $\Pi(O)$ ein schwächeres Maß als die Wahrscheinlichkeit $P(O)$ darstellt und diese somit nach oben abgrenzt. Supplementär schränkt $N(O)$, als ein stärkeres Maß, die Wahrscheinlichkeit nach unten ein (Biewer 1997). Funktional ist dies folgend in den Gleichungen 12 und 13 gezeigt, mit $p(x,y)$ als Wahrscheinlichkeitsdichte über die Region R :

$$\iint_R \pi(x,y) dx dy > 1 \quad \text{und} \quad N_R = 0 \quad (12)$$

$$\iint_R p(x,y) dx dy = 1. \quad (13)$$

Damit ist die Wahrscheinlichkeit zwar nicht bestimmbar, lässt sich jedoch eingrenzen. Zur Einschränkung der Ergebnismenge werden im Weiteren einzig Objektbewertungen betrachtet, in denen die Evidenz für ein Ereignis überwiegt. Für ein Bewertungsintervall gilt demnach zwingend die Bedingung $\Pi(O)$ größer $N(O)$, damit die Bewertung nicht verworfen wird.

5 Verifikation des Verfahrens

Die Verifikation des in Abschnitt 4 beschriebenen Bewertungsverfahrens erfolgt weitgehend unter Realbedingungen. Basierend auf verbalen Beschreibungen einer räumlichen Szene wurde der sich ergebende Möglichkeitsraum berechnet und in Abb. 8 dargestellt. Dieser ergibt sich im vorliegenden Fall aus zehn Lagebeschreibungen jeweils bestehend aus Distanz- und Richtungsschätzung zu einem Relatum. Die räumliche Szene befindet sich auf dem Campus der Universität Karlsruhe. Das Relatum ist gegeben durch den Chemieturm (vgl. Abb. 8 gelber Punkt) in dessen Bezug die räumliche Lage des Sprachzentrums (vgl. Abb. 8 roter Punkt) zu beschreiben war. Als Beobachtungsparameter wurde jeweils von einer eigenen Beobachtung sowie einem Experten als Person des Meldenden ausgegangen ($\Pi(e) = 1$ und $\Pi(m) = 1$). Dadurch kann isoliert der Einfluss der Lagebeschreibungen beurteilt werden.

Die abgegebenen Entfernungsschätzungen variierten im Bereich von 200 bis 550 Meter, bei einer wahren Distanz von etwa 330 Meter. Die Richtungsschätzungen differierten zwischen östlich (100 gon gegen Nord) bis südwestlich (250 gon gegen Nord) bei einer wahren Richtung von etwa 140 gon gegen Koordinatennord (verbal: südöstlich). Aufgrund dieser differierenden Beschreibungen und der sich daraus ergebenden Unschärfe besitzt der aufgespannte Möglichkeitsraum ein Bewertungsmaximum von $\Pi_{max} = 0,55$ sowie eine entsprechende Ausdehnung (vgl. Abb. 8 rechts). Durch Anwendung der einschränkenden Bedingung, $\Pi(O)$ größer $N(O)$, ist der Möglichkeitsraum auf seinen Kern beschränkt, mit einer Ausdehnung von etwa 225×120 Metern (vgl. Abb. 8 links). Darin enthalten sind lediglich fünf der 42 möglichen Objekte aus der näheren Umgebung (vgl. Abb. 8 links, weiße Quadrate). Bei Abwägung der jeweiligen Bewertungen setzt sich das Sprachzentrum (vgl. Abb. 8 links, roter Punkt) mit einer Possibilität von $\Pi_{SZ} = 0,52$ gegen die verbleibenden Objekte durch, welche lediglich Possibilitäten von 0,46 bis 0,50 aufweisen. Die Notwendigkeit beträgt verfahrensbedingt jeweils $N(O) = 0,45$. Damit ist das Sprachzentrum als beschriebenes Objekt eindeutig gefunden. Zudem lässt sich auf Basis des Bewertungsintervalls $[\Pi_{SZ}; N_{SZ}] = [0,52; 0,45]$ die Wahrscheinlichkeit numerisch auf diesen Bereich eingrenzen.

Ein weiteres Beispiel ist mit der Beschreibung der Lage des Audimax relativ zum Chemieturm in Abb. 9 gezeigt.

Der dargestellte Möglichkeitsraum basiert ebenfalls auf den Lagebeschreibungen von zehn Passanten. Es streuen die hier abgegebenen Entfernungsschätzungen (20 bis 100 Meter) ähnlich der abgegebenen Richtungsschätzungen (nordöstlich bis südöstlich) jedoch bedeutend weniger, was zu einer kleineren räumlichen Unsicherheit und somit zu einer höheren Bewertung föhrt. Eine höhere Bewertung der Möglichkeit ($\Pi_{AM}=0,66$) bedingt

Abb. 9 (rechts) dar. Darin wurden die gleichen räumlichen Beschreibungen jedoch ausgehend von einem Passanten ($\Pi(m)=0,9$) als Meldenden sowie als Aussage eines Dritten ($\Pi(e)=0,9$) bewertet. Dies schlägt sich in einer geringeren Bewertung der Möglichkeit ($\Pi_{AM}=0,53$) respektive in einer höheren Notwendigkeit ($N_{AM}=0,44$) nieder (vgl. Abb. 9 rechts). Dies bedingt zudem einen mit einer Ausdehnung von nur noch

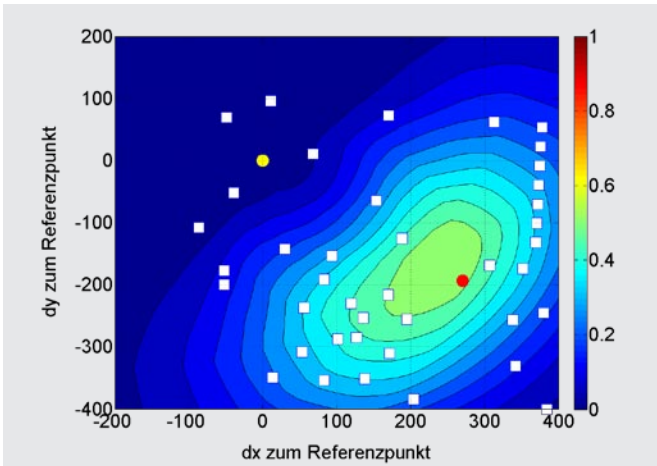
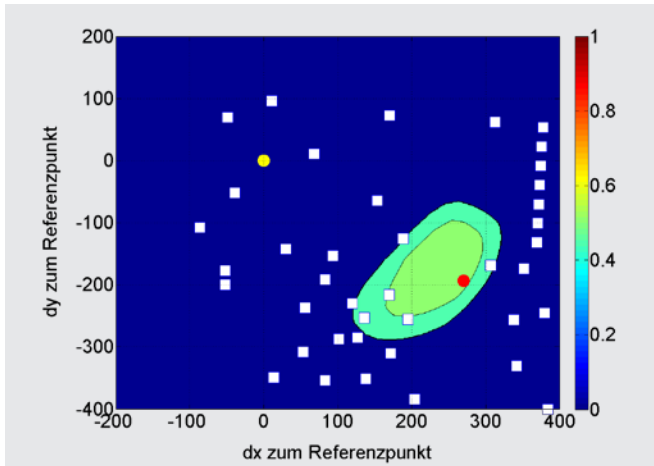


Abb. 8: Links: Möglichkeitsraum aufgespannt durch zehn Lagebeschreibungen des Uni-Sprachzentrums (roter Punkt) relativ zum zweiten Chemieturm (gelber Punkt, Koordinatennull). – Rechts: Möglichkeitsraum ohne Einschränkung durch die Bedingung $\Pi(O)$ größer $N(O)$. – Weiße Quadrate: Positionen weiterer Gebäude im relativen Koordinatensystem

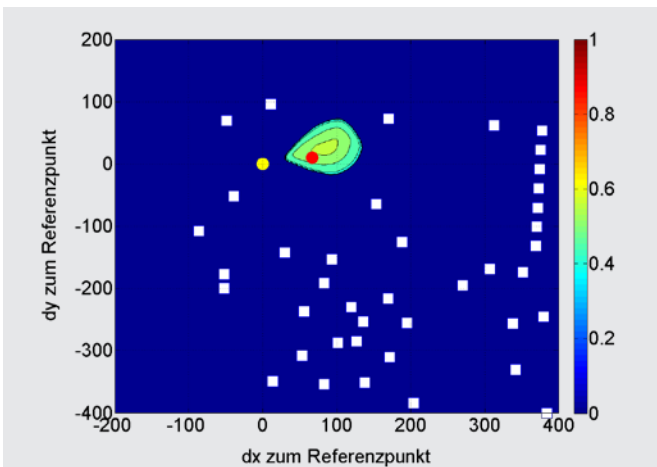
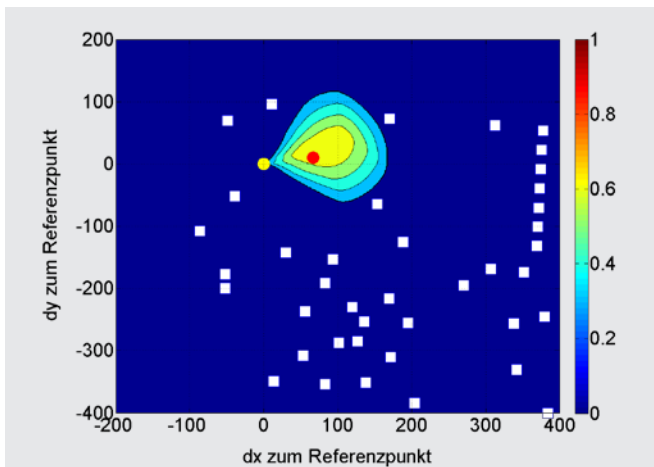


Abb. 9: Links: Möglichkeitsraum aufgespannt durch zehn Lagebeschreibungen des Audimax (roter Punkt) relativ zum zweiten Chemieturm (gelber Punkt, Koordinatennull) mit $\Pi(m)=\Pi(e)=1$. – Rechts: gleiche Situation wie links, jedoch mit $\Pi(m)=\Pi(e)=0,9$. – Weiße Quadrate: Positionen weiterer Gebäude im relativen Koordinatensystem

jedoch auch eine geringere Notwendigkeit ($N_{AM}=0,30$) was eine Dehnung des Bewertungsintervalls bewirkt. Die Eingrenzung der Wahrscheinlichkeit ist demnach schwächer. Der Möglichkeitsraum ist mit einer Ausdehnung von etwa 140×145 Metern dennoch erheblich kompakter als im vorangegangenen Beispiel (vgl. Abb. 9 links). Als Beobachtungsparameter wurde jeweils von einer eigenen Beobachtung sowie einem Experten als Person des Meldenden ausgegangen ($\Pi(e)=1$ und $\Pi(m)=1$). Dies stellt auch den Unterschied zur

70×95 Metern erheblich dezimierten Möglichkeitsraum. Dennoch ist in beiden Fällen das gesuchte Objekt eindeutig bestimmt.

6 Der Prototyp Seneca

Um eine Anwendung anschaulich demonstrieren zu können, wurde neben den Verfahren ebenfalls an der Entwicklung eines Prototyps gearbeitet. Vordergründig dabei war, das Verfahren transparent darzustellen, was

jedoch eine Nutzung nicht ausschließen sollte. Die dafür notwendigen Geodaten des innerstädtischen Bereichs der Stadt Karlsruhe wurden in Form eines Auszuges aus der Automatisierten Liegenschaftskarte (ALK) vom Liegenschaftsamt der Stadt Karlsruhe (LA) zur Verfügung gestellt. Daraus konnten neben den Liegenschaften ebenfalls Gebäudenutzungen, Hausnummern, Eingänge und Straßennamen abgeleitet werden. Diese wurden in der

7 Schlussfolgerung und Ausblick

Die im Verlauf eines Schadensereignisses abgegebenen Meldungen lassen sich in vier Klassen unterteilen, basierend auf dem jeweiligen Abstraktionslevel (Lucas et al. 2008). Die geringste Abstraktion ist gegeben, wenn die Meldung alle zur Auswertung benötigten Informationen enthält. Dies wird durch eine eindeutige Georeferenzierung

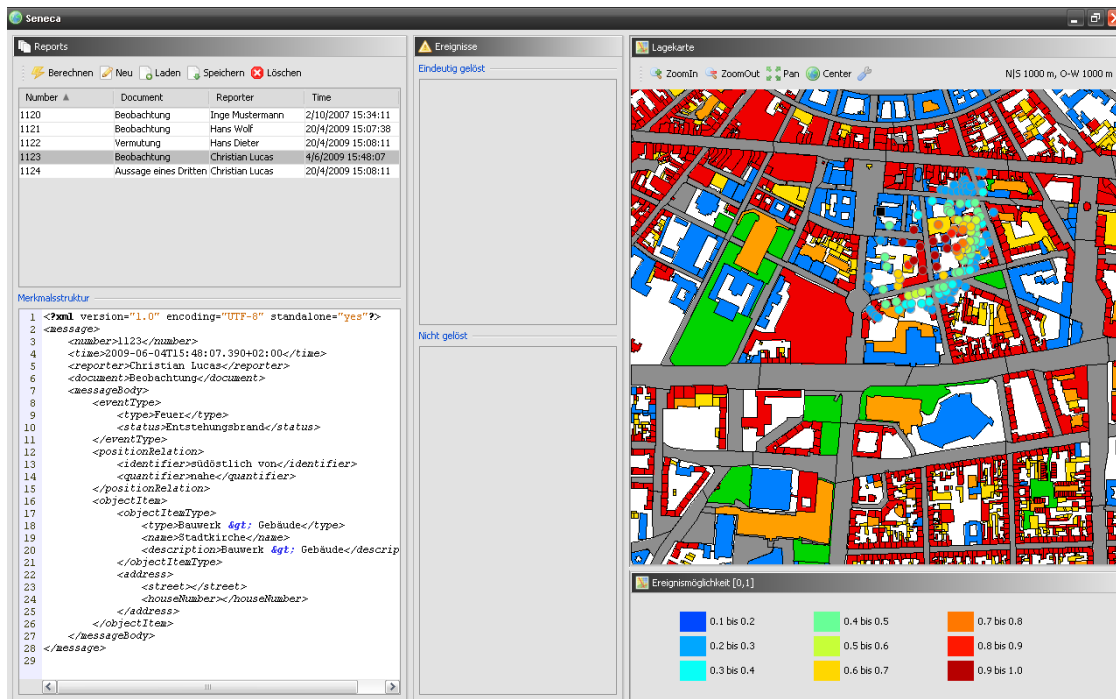


Abb. 10: Screenshot des Prototyp Seneca mit Bewertung der Meldung: südöstlich der Stadtkirche (schwarzes Viereck)

Wissensbasis hinterlegt, um dem System im Weiteren zur Verfügung zu stehen. So dient beispielsweise die Position der Hausnummer zur Auflösung objektinhärenter Eigenschaften, wie der Definition der funktionsgetragenen Gebäudegrundseiten. Die geföhrten Gebäudenutzungen stützen die Auflösung von Mehrdeutigkeiten, sodass einzig Alternativbezeichnungen zusätzlich hinterlegt werden mussten.

Die Meldungseingabe erfolgt durch den Operator, entsprechend Abschnitt 1, über eine Eingabemaske. Während der Eingabe findet sofort eine Rückkopplung mit der Wissensbasis statt und es wird abgeprüft, ob die jeweiligen Objekte vorhanden sind. Ist dies nicht der Fall, kann auch das Relatum nicht bestimmt werden und die Meldung gilt als ungelöst. Eine Zuordnung gelöster und ungelöster Meldungen wird neben dem Meldungsverlauf und der Kartendarstellung gelistet. Die Objektbewertung wird über eine auf dem Objekt platzierte Farbkodierung für den Nutzer klar erkenntlich in der Kartendarstellung abgebildet. Realisiert ist der Prototyp Namens Seneca plattformunabhängig in Java. Bis auf die Kartendarstellung, welche auf MapObjects Java Edition der Firma ESRI basiert, wurde darauf geachtet, einzig quelloffene (engl. open source) Rahmenstrukturen (engl. framework) zu nutzen.

Die Meldung erreicht und entspräche dem Wortlaut: *das Feuer hat die Koordinaten [...]*. Eine automatisierte Auswertung solcher Information ist problemlos möglich, jedoch sind Meldungen dieses Abstraktionslevels selten bis nie gegeben. Wesentlich häufiger wird unter Bezug auf vermeintlich bekannte Information gemeldet. Die Lokalisierung einer Meldung wie: *es befinden sich drei verletzte Personen am Unfallort* basiert auf einem Verweis und entspricht folglich einem höheren Abstraktionslevel. Dennoch ist eine derartige Meldung unter Berücksichtigung von Kontextwissen, wie es in der hier vorgestellten Wissensbasis modelliert ist, automatisiert möglich. Das entwickelte DM² stellt speziell für derartige Fälle, neben Domänen- und räumlichen Wissen, ebenfalls Wissen über den Verlauf von Ereignissen zur Verfügung.

Eine wiederum höhere Abstraktion ist gegeben, sobald die Integration von Zusatzwissen zur Auswertung benötigt wird. So ist eine Meldung wie: *nördlich des Albert Schweitzer Gymnasiums brennt es* nur automatisiert auswertbar, wenn zum einen die funktionale Definition der räumlichen Relation *nördlich* gegeben ist und zum anderen Kenntnis über die Position des Relatums (*Albert Schweitzer Gymnasium*) vorliegt. Mit dem in Abschnitt 4 vorgestellten Verfahren ist eine Modellierung derartiger räumlicher Relation, wie sie für den Meldungsverlauf typisch sind, durch die Definition von Möglichkeitsräu-

men gegeben. Objektscharf wird im Konfidenzbereich von 0 bis 1 bewertet, inwieweit die Lage eines Objektes mit der in einer Meldung genutzten räumlichen Relation übereinstimmt. Benötigte Zusatzinformation wird entsprechend von der Wissensbasis (DM²) zur Verfügung gestellt. Weder für einen Operateur noch durch das hier vorgestellte Verfahren sind Meldungen des höchsten Abstraktionslevel lösbar. Gegeben ist dies durch Meldungen wie: *vor einigen Minuten explodierte vermutlich etwas*, die weder räumliche Bezüge aufweisen noch eindeutig Ereignisse beschreiben.

Das in diesem Artikel präsentierte Verfahren zur Modellierung von Möglichkeitsräumen basierend auf der funktionalen Beschreibung räumlicher Relationen ist jedoch nicht auf die Domäne des Katastrophenmanagements beschränkt. So sind domänenfremde Anwendungen zur Auswertung verbal beschriebener räumlicher Bezüge, wie in Internet-Blogs gegeben, durchaus denkbar. Die vorliegend genutzte Domäne des Katastrophenmanagements zeigt lediglich eine realistische Anwendung auf und bietet somit die Möglichkeit, das Verfahren praxisnah zu evaluieren. Einzig domänenbeschränkt ist die entwickelte Ontologie zur Wissensrepräsentation, welche gegebenenfalls an neue Domänen anzupassen ist. Weiterhin wünschenswert für eine Nutzung des Prototypen Seneca, im direkten Anwendungsfall eines Großschadensereignisses, wäre jedoch die Ergänzung einer Informationsextraktionskomponente respektive einer Spracherkennung. Dies ist jedoch nach Ansicht des Autors primär eine Aufgabenstellung der Computerlinguistik.

Ziel war es letztlich zu zeigen, dass Sprache gewissermaßen als Datentyp der Fernerkundung genutzt werden kann.

Dank

Der Autor dankt der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Finanzierung des Forschungsprojektes *Abstraktion graphisch und verbal repräsentierter Geodaten* (Projekt Nr.: BA 686/16). Dank gebührt zudem der Branddirektion Karlsruhe, welche den Meldungskorpus wie auch ihre Expertise durch D. Bertram zur Verfügung stellte. Zudem dankt der Autor dem Liegenschaftsamt der Stadt Karlsruhe für die Bereitstellung der Geodaten sowie S. Werder (Institut für Kartographie und Geoinformatik, Universität Hannover) für seine Unterstützung.

Literatur

- Biewer, B.: Fuzzy Methoden: Praxisrelevante Rechenmodelle und Fuzzy-Programmiersprache. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1997.
- Dubois, D. und Prade, H.: Possibility Theory: An Approach to Computerized Processing of Uncertainty. Plenum Press, 1988.
- Dyckhoff, H. und Pedrycz, W.: Generalized Means as a Model of Compensative Connectives. Fuzzy Sets and Systems, Vol. 14, S. 143–154, 1984.
- Egenhofer, M. und Mark, D.: Naive Geography. In: Frank, A. und Kuhn, W. (Editors): Spatial Information Theory – A Theoretical Basis for GIS, Vol. 988, S. 1–15. Springer-Verlag, 1995.
- Gruber, T.-R.: A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. In Knowledge Acquisition, Vol. X, S. 199–220, 1993.
- Lucas, C., Müller, M. und Bähr, H.-P.: Integration of Language in GIS: Models in Ownership Cadastre and Disaster Management. Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation (PFG), Vol. 3, S. 217–225, 2008.
- Lucas, C. und Werder, S.: Modeling Spatial Scenes in Disaster Domain Ontologies. In: Proceedings of the XXI ISPRS Congress. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science (IAPRSIS), Vol. XXXVII of B4, S. 1091–1096, 2008.
- Lucas, C., Werder, S. und Bähr, H.-P.: Information Mining for Disaster Management. In Stilla, U., Mayer, H., Rottensteiner, F., Heipke, C. und Hinz, S. (Editors): Proceedings: ISPRS Conference on Photogrammetric Image Analysis (PIA'07). International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science (IAPRSIS), Vol. 36 Part 3/W49A, S. 75–80, 2007.
- MIP: Command and Control Information Exchange Data Model (C2IEDM), 6.15e Edition, 2005.
- Neumann, G., Backofen, R., Baur, J., Becker, M. und Braun, C.: An Information Extraction Core System for Real World German Text Processing. In: Jacobs, P. (Editor): Proceedings of the 5th Conference on Applied Natural Language Processing (ANLP '97). March 31–April 3, Washington D.C., USA. Morgan Kaufmann Publishers, S. 208–215, 1997.
- SKK: Leitung im Einsatz: Entwurf einer Dienstvorschrift (DV 100), Ständigen Konferenz für Katastrophenvorsorge und Bevölkerungsschutz (SKK), 1999.
- Zadeh, L.: Fuzzy Sets. Information and Control, Vol. 8, S. 338–353, 1965.

Anschrift des Autors

Dipl.-Ing. Christian Lucas
 Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Universität Karlsruhe (TH)
 Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung (IPF)
 Englerstraße 7, 76128 Karlsruhe
 Tel.: 0721 6083676
 christian.lucas@ipf.uni-karlsruhe.de