

**Konzeption und Realisierung eines Multiagentensystems zur  
Unterstützung von Entscheidungsträgern bei der Bewältigung von  
Erdbebenkatastrophen**

Zur Erlangung des akademischen Grades eines  
DOKTOR-INGENIEURS  
von der KIT-Fakultät für

Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften

des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

genehmigte  
**Dissertation**  
von

Dipl.-Wirtsch.-Inform. Hagen Engelmann

aus Bad Kreuznach

Tag der mündlichen Prüfung: 17.04.2018  
Referent: Prof. Dr.-Ing. Fritz Gehbauer, M.S  
Korreferent: Prof. Dr. Andreas Oberweis

Karlsruhe 2022



# Vorwort des Verfassers

Die vorliegende Arbeit ist im Rahmen von zwei von der DFG geförderten Forschungsprojekten am Institut für Technologie und Management im Baubetrieb entstanden. Der Hauptteil der Erkenntnisse beruht auf dem Teilprojekt „Katastrophenmanagement: Modellbildung und Simulation“ des „Sonderforschungsbereiches 461 Starkbeben: Von geowissenschaftlichen Grundlagen zu Ingenieurmaßnahmen“. Ergänzend sind Ergebnisse aus dem Projekt „Modellbasiertes Ressourcenmanagement für Hochwasserereignisse und Interoperabilität“ eingeflossen. Gerade die interdisziplinäre Forschung sowie vor allem der praktische Anteil, durch die Zusammenarbeit mit Verantwortlichen aus dem Katastrophenschutz, waren für mich reizvoll. Dabei ermöglichte die Umsetzung der Forschungsergebnisse als Software es, Rückmeldung von diesen Verantwortlichen zu erhalten und damit einen Bezug zwischen der Theorie und ihrer praktischen Umsetzung herzustellen.

An Erstes gilt mein Dank Herr Prof. Dr.-Ing. Fritz Gehbauer für die Übernahme des Hauptreferats und das in mich gesetzte Vertrauen. Er hat mir stets die Freiheiten gegeben, meine eigenen Ideen umzusetzen und gleichzeitig Impulse gesetzt, die meine Arbeit bereichert haben. Ebenso bedanken möchte ich mich Prof. Dr. Andreas Oberweis für sein Interesse an meiner Arbeit und seine Unterstützung sowie die Bereitschaft, das Korreferat zu übernehmen. Besonders dankbar bin ich außerdem Prof. Dr.-Ing. Frank Fiedrich, auf dessen Forschungsergebnissen meine Arbeit aufbaut und der mich bei meinem Einstieg in die Forschungscommunity des Katastrophenmanagements unterstützt hat.

Darüber hinaus wäre meine Arbeit ohne den Beitrag zahlreicher weiterer Personen nicht möglich gewesen. Besonders erwähnen möchte ich meine Kollegen im SFB 461 und im Speziellen Stefan Werder, der maßgeblich den MIS des DMT gestaltet hat, welcher zur Darstellung der Ergebnisse der von mir entwickelten Komponenten eingesetzt wurde. Bei dieser Arbeit wurde ich über die Jahre natürlich auch durch zahlreiche studentische Hilfskräfte und Diplomanden unterstützt. Weiterhin danke ich dem rumänischen Katastrophenschutz, der maßgeblich zum praktischen Bezug der Arbeit beigetragen hat. Einblicke in das Vorgehen in Deutschland konnte ich durch Besuche bei der „Bundesakademie für Bevölkerungsschutz und Zivile Verteidigung“ (ehemals AKNZ) sowie bei der Feuerwehr Karlsruhe erhalten, denen ich für ihre Offenheit und Hilfsbereitschaft danke.

Weiterhin möchte ich mich bei meinen Kollegen am KIT bedanken. Aus dem Sonderforschungsbereich 461 seien besonders Michael Markus und Christine Schweier erwähnt, von deren Erfahrungen ich profitieren konnte und mit denen ich viele schöne

Abende auf unseren Dienstreisen in Bukarest verbringen durfte. Auch meine Kollegen aus Folgeprojekten Christian Paulus, David Braun und Stefan Möllmann haben mit ihren Ideen und Impulse zu meiner Arbeit beigetragen. Den weiteren Kollegen am Institut für Technologie und Management im Baubetrieb gilt mein Dank für ein stets gutes Arbeitsklima, speziell erwähnen möchte ich hier Markus Schönit, Harald Schneider, Heinrich Schlick und Uwe Rickers.

In Liebe danke ich meiner Frau Carina für ihre Geduld und dafür, dass sie mir, zusammen mit meiner Tochter Finja, die Energie und den Ansporn gegeben hat, die Arbeit abzuschließen. Zuletzt danke ich meinen Eltern für die Unterstützung meines bisherigen Lebensweges und dass Sie mir mein Studium ermöglichten, mit dem der Grundstein für diese Arbeit gelegt wurde.

# Kurzfassung

Weltweit stellen Großschadensereignisse aufgrund von Naturkatastrophen Gesellschaften vor schwer zu bewältigende Probleme. Selbst in Industrienationen, die landesweit über ausreichende Ressourcen verfügen, ist das Krisenmanagement in einer betroffenen Region oft eine Herausforderung, wie der Hurrikan Katrina 2005 in den USA oder das Oderhochwasser 1997 in Deutschland zeigten. Bei Erdbebenkatastrophen ist ein zeitnahe Krisenmanagement entscheidend für eine Minimierung der Schäden. Die Orte, die potenziell gefährdet sind, lassen sich meist gut eingrenzen. Es gibt allerdings aktuell keine Möglichkeit, Starkbeben mit einem entsprechenden Schadensumfang frühzeitig vorauszusehen. Die Optimierung der Koordination von Einsatzkräften hat das Potenzial, die Bewältigung solcher Großschadensereignisse deutlich zu verbessern.

Aufbauend auf den Ergebnissen vorangegangener Forschung zum Management von Erdbebenkatastrophen am *Institut für Technologie und Management im Baubetrieb* wurde in der vorliegenden Arbeit ein Entscheidungsunterstützungssystem für die Mitarbeiter einer Einsatzleitstelle geschaffen. In einem theoretischen Teil werden mögliche Hilfestellungen untersucht und bewertet, deren praktischer Nutzen durch die Umsetzung in einem Programm, dem *Disaster Management Tool (DMT)*, evaluiert wird. Ein Modell des Entscheidungsprozesses von Personen aus dem Zivilschutz dient als Anhaltspunkt für mögliche Hilfestellungen sowie deren Präsentation in der Benutzungsoberfläche des Systems.

Die Entscheidungshilfen basieren auf der Auswertung einer Faktenbasis durch Algorithmen und Regeln, die in einer Wissensbasis abgelegt sind. Die Regeln beruhen auf Literaturrecherchen, aber insbesondere auf dem Expertenwissen von Zivilschutzmitarbeitern, welches in Befragungen erhoben wurde. Die im System genutzte Fakten- und Wissensbasis zeichnet sich vor allem durch ihre Fähigkeit zur Verarbeitung unscharfer Informationen aus. Die Implementierung der theoretischen Modelle zur Entscheidungsunterstützung im DMT basiert auf dem Konzept eines Multiagentensystems. Das System dient, aufgrund seiner auf Standards basierenden Plattform und der Nutzung offener Datenformate, auch als Machbarkeitsstudie für das Design einer flexiblen und interoperablen Systemarchitektur. Die gewonnenen Erkenntnisse beschränken sich dabei nicht auf das Katastrophenmanagement nach Starkbeben, sondern lassen sich auch auf Schadensereignisse aufgrund anderer Ursachen übertragen.



# Abstract

Natural disasters that cause large-scale damage are major worldwide problem. As examples like Hurricane Katrina in the USA in 2005 or the Oderhochwasser in Germany in 1997 shows, it's even for industrialized nations with in sum sufficient resources challenging to manage the response activities in an affected region during a major crisis. In the case of earthquake, timely crisis management is crucial to minimize the damage. While places that are potentially endangered are usually known, it's in most cases not possible to anticipate when an Earthquake with extended damage strikes. The management of such types of disasters could be significantly improved by an optimization of the coordination of operational forces.

Based on previous research in the management of earthquake disasters at the *Institut für Technologie und Management im Baubetrieb*, a Decision Support System for the members of an Emergency Operation Centre was developed in this thesis. In the theoretical sections different options for the support are examined and evaluated. Their practical benefits are evaluated by an implementation in a program the Disaster Management Tool (DMT). A model of the decision-making process of persons from civil protection, serves as the reference point for options of support. The presentation of the decision support in the user interface of the DMT is also based on this model.

The support and assistance of the system are based on the evaluation of the available information stored in a Factbase by algorithms and rules from a Knowledgebase. The rules are based on literature research and the expertise of workers from civil protection organizations extracted by interviews. The Fact- and Knowledgebase of system have the ability to process fuzzy information. The architecture of the DMT is based on the concept of a multi-agency system. With Platform components based on specified Standards and XML based data formats, the DMT also serves as a feasibility study for the design of flexible and interoperable system architecture. The findings obtained in the thesis are not restricted to disaster management after Earthquakes, but can also be transferred to other types of disasters.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1. Untersuchungsgegenstand . . . . .	1
1.2. Fragestellung und vorangegangene Arbeiten . . . . .	2
1.3. Zielsetzung . . . . .	3
1.4. Aufbau der Arbeit . . . . .	5
<b>2. Die Domäne des Katastrophenmanagements</b>	<b>7</b>
2.1. Führungsstruktur . . . . .	7
2.1.1. Organisationsstruktur . . . . .	8
2.1.2. Informationsverwaltung und Übertragung . . . . .	10
2.1.3. Führen und Leiten durch Entscheidungsträger . . . . .	11
2.2. Katastrophenmanagement . . . . .	13
2.3. Einordnung der Arbeit . . . . .	16
<b>3. Entscheidungstheorien und Entscheidungsprozesse</b>	<b>17</b>
3.1. Einführung . . . . .	17
3.2. Eigenschaften der Entscheidungsfindung bei Katastrophen . . . . .	18
3.3. Entscheidungsprozesse . . . . .	20
3.3.1. RPD . . . . .	22
3.3.2. OODA . . . . .	24
3.4. Entscheidungsprozesse bei Katastrophen . . . . .	25
3.4.1. Planen und Entscheiden im Katastrophenmanagement . . . . .	26
3.4.2. Modell für die Entscheidungsunterstützung . . . . .	27
<b>4. Problemstellung und Lösungsansätze</b>	<b>35</b>
4.1. Systeme der Domäne aus Theorie und Praxis . . . . .	35
4.2. Anforderungsanalyse . . . . .	37
4.2.1. Allgemeine Anforderungen . . . . .	37
4.2.2. Unterstützung des Anwenders . . . . .	37
4.2.3. Unscharfe Informationen . . . . .	41
4.2.4. Technische Anforderungen . . . . .	42
4.2.5. Akzeptanz . . . . .	44
4.3. Lösungsansätze . . . . .	45
4.3.1. Einführung Entscheidungsunterstützungssysteme . . . . .	46
4.3.2. Aktive Entscheidungsunterstützung . . . . .	47
4.3.3. Passive Entscheidungsunterstützung . . . . .	51

4.3.4.	Nutzungsoberfläche als Integrationsschicht . . . . .	52
4.3.5.	Unschärfe Informationen . . . . .	53
4.3.6.	Simulation . . . . .	54
4.3.7.	Agenten . . . . .	57
<b>5.</b>	<b>Modellbildung</b>	<b>63</b>
5.1.	Schaden, Gefahr und Risiko . . . . .	64
5.2.	Informationsaustausch . . . . .	65
5.2.1.	DMT-Message . . . . .	66
5.2.2.	Schadensmeldung . . . . .	67
5.2.3.	Befehlsnachricht . . . . .	68
5.2.4.	Statusmeldung . . . . .	69
5.2.5.	Unterstützungsanfrage . . . . .	70
5.3.	Modell der Umwelt . . . . .	70
5.3.1.	Basismodell . . . . .	72
5.3.2.	Simulation . . . . .	76
5.3.3.	Entscheidungsunterstützung . . . . .	77
5.3.4.	Sonstiges . . . . .	81
5.4.	Verarbeitung eingehender Informationen . . . . .	81
5.4.1.	Umwelt . . . . .	81
5.4.2.	Ressourcen . . . . .	82
5.4.3.	Unschärfe Informationen . . . . .	84
5.5.	Fakten- und Wissensbasis des DMT . . . . .	94
5.5.1.	Typisierung von Termen . . . . .	95
5.5.2.	Weitere Operationen . . . . .	96
5.5.3.	Namensraum . . . . .	97
5.5.4.	Regeln und Algorithmen in dieser Arbeit . . . . .	106
<b>6.</b>	<b>Methoden der passiven Entscheidungsunterstützung</b>	<b>109</b>
6.1.	Informationsquellen . . . . .	110
6.2.	Simulatoren und Szenarien . . . . .	110
6.2.1.	Gebäudeschäden durch Erdbeben . . . . .	111
6.2.2.	Brandausbreitung und -bekämpfung in einem Gebäude . . . . .	112
6.2.3.	Brandausbreitung auf Nachbargebäude . . . . .	117
6.2.4.	Schadensszenarien . . . . .	118
6.2.5.	Such- und Rettungsarbeiten bei einem Gebäudeeinsturz . . . . .	119
6.2.6.	Trainings und Einsatzsimulationen . . . . .	120
6.3.	Abgeleitete Fakten . . . . .	123
6.3.1.	Abschätzung der Anzahl betroffener Personen . . . . .	123
6.3.2.	Mögliche Folgen von Gebäudeschäden . . . . .	125
6.4.	Informationsmanagement . . . . .	131
6.4.1.	Informationsaustausch . . . . .	132
6.4.2.	Informationsdarstellung und -zugriff . . . . .	135
6.5.	Risikobewertung . . . . .	142

<b>7. Methoden der aktiven Entscheidungsunterstützung</b>	<b>145</b>
7.1. Ressourcenbild der Agenten . . . . .	145
7.1.1. Ermittlung der kürzesten Route . . . . .	145
7.1.2. Ressourcenverwaltung im Agenten . . . . .	148
7.2. Internes Gefahrenbild der Agenten . . . . .	153
7.2.1. Beurteilung der verfügbaren Fakten . . . . .	154
7.2.2. Lagebild aus realen, prognostizierten und abgeleiteten Fakten	160
7.2.3. Qualität der Prognosen . . . . .	162
7.3. Interne Risikobewertung der Agenten . . . . .	164
7.3.1. Regelbasierte Risikobewertung . . . . .	165
7.3.2. Abhängigkeiten von Gefahren . . . . .	171
7.3.3. Darstellung der Risikobewertung . . . . .	172
7.4. Entscheidungsfindung auf Basis des Lagebildes . . . . .	173
7.4.1. Priorisierung der Gefahrenbereiche . . . . .	174
7.4.2. Zusammenstellung von Ressourcen . . . . .	186
7.5. Unterstützung durch die Bereitstellung von Plänen . . . . .	217
7.5.1. Routenbestimmung für die Lageerfassung aus der Luft . . . .	218
7.5.2. Routenbestimmung für die Lageerfassung am Boden . . . . .	219
<b>8. Kooperativer Entscheidungsprozess</b>	<b>225</b>
8.1. Ablauf . . . . .	225
8.2. Kooperative Bewertung eingehender Informationen . . . . .	228
8.3. Ressourcenzuordnung . . . . .	230
8.4. Simulation der Ressourcenzuordnung . . . . .	233
<b>9. Implementierung</b>	<b>237</b>
9.1. Verwendete Technologien . . . . .	237
9.1.1. High Level Architecture (HLA) . . . . .	237
9.1.2. Einsatzgebiete von HLA . . . . .	238
9.1.3. Agentenplattformen . . . . .	239
9.1.4. Agentenplattform JADE . . . . .	241
9.1.5. Weitere berücksichtigte Standards . . . . .	243
9.2. Das Disaster Management Tool (DMT) . . . . .	244
9.2.1. Systeme aus vorausgegangenen Forschungsarbeiten . . . . .	244
9.2.2. Bestandteile des Systems . . . . .	245
9.2.3. Architektur . . . . .	247
9.3. Systemaufbau . . . . .	248
9.3.1. Simulation . . . . .	250
9.3.2. Entscheidungsunterstützung . . . . .	251
9.3.3. Externe Schnittstellen . . . . .	252
9.4. Datenaustausch . . . . .	253
9.4.1. XML und XML-Schema . . . . .	253
9.4.2. Nachrichtenformate im zivilen und militärischen Bereich . . .	254
9.4.3. Austauschformate des DMT . . . . .	257

9.5. Datenablage und -verarbeitung . . . . .	262
9.5.1. Fakten- und Wissensbasis . . . . .	264
9.5.2. Integration in Java . . . . .	267
<b>10. Evaluation und Datensammlung</b>	<b>269</b>
10.1. Zivilschutz in Rumänien . . . . .	269
10.2. Zivilschutz in Deutschland . . . . .	270
10.2.1. AKNZ . . . . .	271
10.2.2. Feuerwehr Karlsruhe . . . . .	271
10.3. Beurteilung . . . . .	272
<b>11. Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>275</b>
<b>A. Anhang</b>	<b>279</b>
A.1. Fuzzy Logik . . . . .	279
A.1.1. Fuzzy-Mengen . . . . .	279
A.1.2. Eigenschaften und Definitionen . . . . .	282
A.1.3. Fuzzy-Entscheidungssysteme . . . . .	283
A.2. Formular zur Schadensmeldung . . . . .	289
A.3. Schadensklassen und Risiken . . . . .	290
A.3.1. Schadensklassen . . . . .	290
A.3.2. Risikoklassen . . . . .	291
A.4. Klassen der Gebäudenutzung . . . . .	292
A.5. Mögliche Datentypen der Fakten- und Wissensbasis . . . . .	294
A.6. Auswertungsterme der Wissensbasis . . . . .	295
A.6.1. Such- und Rettungsarbeiten . . . . .	295
A.6.2. Betroffene Personen . . . . .	295
A.6.3. Gebäudeschäden . . . . .	297
A.6.4. Routenberechnung . . . . .	300
A.6.5. Ressourcenverwaltung . . . . .	301
A.6.6. Risikobewertung . . . . .	302
A.7. Fuzzy Regeln der Wissensbasis . . . . .	314
A.7.1. Struktur eines Fuzzy Funktionsblocks in FCL . . . . .	314
A.7.2. FactReliabilityCalculation . . . . .	314
A.7.3. ReliabilityDegeneration . . . . .	316
A.7.4. FactReliabilityCombination . . . . .	319
A.8. Auszug aus der Fakten- und Wissensbasis . . . . .	322
A.8.1. Beispielterme der Fakten- und Wissensbasis . . . . .	322
A.8.2. Beispielterme für Textbausteine der ADVISOR-Agenten . . . . .	324
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>329</b>

# Abbildungsverzeichnis

2.1. Führungsvorgang . . . . .	12
2.2. Aufgaben eines Entscheidungsträgers nach [MLR <sup>+</sup> 06] . . . . .	13
2.3. Katastrophenmanagement-Zyklus . . . . .	15
3.1. RPD-Modell [Kle98] . . . . .	30
3.2. OODA-Modell (siehe [Boy96]) . . . . .	31
3.3. Modell des Entscheidungsprozesses – Intuitiver Pfad . . . . .	32
3.4. Modell des Entscheidungsprozesses – Analytischer Pfad . . . . .	33
5.1. Komponenten des DMT . . . . .	64
5.2. Struktur des DMT-Message-Formates . . . . .	66
5.3. Informationsniveaus . . . . .	71
5.4. Matrix zur Risikobewertung eines Gefahrenbereiches (Mit einem + gekennzeichnete Einträge stellen valide Kombinationen dar)	78
5.5. Bestimmung des aktuellen Ressourcenstatus . . . . .	83
5.6. Qualifikation eines Beobachters . . . . .	87
5.7. Qualität einer Beobachtung . . . . .	88
5.8. Glaubwürdigkeit einer Aussage . . . . .	89
5.9. Ablauf Fuzzy-Auswertung . . . . .	93
6.1. Hauptseite des MIS . . . . .	135
6.2. Nachrichtenübersicht . . . . .	136
6.3. Dialog „Nachricht lesen“ . . . . .	136
6.4. Dialog „Nachricht erstellen“ . . . . .	137
6.5. Dialog „Übersicht Gefahrenbereiche“ . . . . .	138
6.6. Detailansicht Gefahrenbereich . . . . .	139
6.7. Ressourcenübersicht (links) und Detailansicht Ressource (rechts) . . .	140
6.8. Kartendarstellung . . . . .	141
6.9. Risikomatrix im DMT . . . . .	142
7.1. Zusammenhänge zwischen Gefahrentypen . . . . .	171
8.1. Entscheidungsprozesse der ADVISOR-Agenten . . . . .	227
8.2. Kooperative Situationsbewertung . . . . .	229
8.3. Unterstützung bei der Ressourcenzuordnung . . . . .	231

8.4.	Simulation von Befehlen zur Ressourcenzuordnung . . . . .	235
9.1.	Bestandteile des DMT . . . . .	246
9.2.	Systemaufbau des DMT . . . . .	249
9.3.	Austauschformate für Informationen im DMT . . . . .	257
9.4.	DMT-IXS - Nachrichtenaustausch Gestrichelt umrandete Elemente sind optional und solche mit einem Plus können aufgeklappt werden, um auf weitere Elemente zu verzweigen. Übereinander liegende Elemente zeigen an, dass sie mehrfach vorhanden sein können. . . . .	259
9.5.	DMT-IXS – Informationsaustausch und Kontrollnachrichten . . . . .	260
9.6.	Aufbau der Datenbasis des DMT . . . . .	262
9.7.	Fakten- und Wissensbasis – Aufbau . . . . .	265
9.8.	Fakten- und Wissensbasis – Regelaufbau . . . . .	266
A.1.	Darstellung einer Fuzzy-Zugehörigkeitsfunktion als Kennlinie . . . . .	280
A.2.	Typische Referenzfunktionen der LR-Darstellung . . . . .	280
A.3.	Trapezfunktion der LR-Darstellung . . . . .	281
A.4.	Regelbasiertes Fuzzy-System mit $n$ Eingängen und einem Ausgang (siehe [Unb08]) . . . . .	284
A.5.	Beispiel für Formular zur Schadensmeldung (gemäß [AKN13]) . . . . .	289
A.6.	Fakten und Wissensbasis - Datentypen . . . . .	294

# Tabellenverzeichnis

6.1. Gefahrstoffklassifikation im DMT . . . . .	127
7.1. Multiplikatoren zur Bestimmung der Schadenssumme . . . . .	157
7.2. Gebäude mit besonderem Nutzung . . . . .	158
7.3. Personenrisiko aufgrund eines Brandes . . . . .	166
A.4. Beurteilung des Ausbreitungsrisikos . . . . .	304



# Abkürzungsverzeichnis

AI	<b>A</b> rtificial <b>I</b> ntelligence ( <b>K</b> ünstliche <b>I</b> ntelligenz (KI))
ACL	<b>A</b> gent <b>C</b> ommunication <b>L</b> anguage
AID	<b>A</b> gent <b>I</b> dentifier
AKNZ	<b>A</b> kademie für <b>K</b> risenmanagement, <b>N</b> otfallplanung und <b>Z</b> ivilschutz
ALSP	<b>A</b> ggregate <b>L</b> evel <b>S</b> imulation <b>P</b> rotocols
AMS	<b>A</b> gent <b>M</b> anagement <b>S</b> ystem
AP	<b>A</b> gent <b>P</b> latform
BBK	<b>B</b> undesamt für <b>B</b> evölkerungsschutz und <b>K</b> atastrophenhilfe
BDI	<b>B</b> elief, <b>D</b> esire and <b>I</b> ntention
BHP	<b>B</b> ehandlungsplatz
BIES	<b>B</b> ukarest <b>I</b> nspectorate for <b>E</b> mergency <b>S</b> ituations
BML	<b>B</b> attle <b>M</b> anagement <b>L</b> anguage
BOS	<b>B</b> ehörden und <b>O</b> rganisationen mit <b>S</b> icherheitsaufgaben
BPMN	<b>B</b> usiness <b>P</b> rocess <b>M</b> odelling <b>N</b> otation
CA	<b>C</b> ommunicative <b>A</b> ct
CBR	<b>C</b> ase- <b>B</b> ased <b>R</b> easoning
CPP	<b>C</b> hinese <b>P</b> ostman <b>P</b> roblem
DIS	<b>D</b> istributed <b>I</b> nteractive <b>S</b> imulation
DMSO	<b>D</b> efense <b>M</b> odeling and <b>S</b> imulation <b>O</b> ffice
DMT	<b>D</b> isaster <b>M</b> anagement <b>T</b> ool
DoD	<b>D</b> epartment of <b>D</b> efense
DS	<b>D</b> amage <b>S</b> tate
DSS	<b>D</b> ecision <b>S</b> upport <b>S</b> ystem (Entscheidungsunterstützungssystem (EUS))
DTD	<b>D</b> ocument <b>T</b> ype <b>D</b> efinition
EDXL	<b>E</b> mergency <b>D</b> ata <b>E</b> xchange <b>L</b> anguage
FCL	<b>F</b> uzzy <b>C</b> ontrol <b>L</b> anguage
FEMA	<b>F</b> ederal <b>E</b> mergency <b>M</b> anagement <b>A</b> gency
FIPA	<b>F</b> oundation for <b>I</b> ntelligent <b>P</b> hysical <b>A</b> gents
FOM	<b>F</b> ederate <b>O</b> bject <b>M</b> odel
GIES	<b>G</b> eneral <b>I</b> nspectorate for <b>E</b> mergency <b>S</b> ituations
GIS	<b>G</b> eographisches <b>I</b> nformationssystem
HLA	<b>H</b> igh <b>L</b> evel <b>A</b> rchitecture
ICS	<b>I</b> ncident <b>C</b> ommand <b>S</b> ystem
IEEE	<b>I</b> nstitute of <b>E</b> lectrical and <b>E</b> lectronics <b>E</b> ngineers
IoT	<b>I</b> nternet of <b>T</b> hings

IP	<b>I</b> nternet <b>P</b> rotocol
IXS	<b>I</b> nformation <b>E</b> xchange <b>S</b> pecification
JADE	<b>J</b> ava <b>A</b> gent <b>D</b> evelopment Framework
JAL	<b>J</b> ACK <b>A</b> gent <b>L</b> anguage
JAXB	<b>J</b> ava <b>A</b> rchitecture for <b>X</b> ML <b>B</b> inding
JMS	<b>J</b> ava <b>M</b> essage <b>S</b> ervice
JVM	<b>J</b> ava <b>V</b> irtual <b>M</b> achine
KTW	<b>K</b> rankentransport <b>w</b> agen
LÜKEX	<b>L</b> änderübergreifende <b>K</b> risenmanagementübung ( <b>EX</b> ercise)
MANV	<b>M</b> assen <b>a</b> nfalls von <b>V</b> erletzten
MAS	<b>M</b> ulti- <b>A</b> gent <b>S</b> ystem ( <b>M</b> ultiagentensystem)
MIS	<b>M</b> anagement <b>I</b> nformation <b>S</b> ystem
MMI	<b>M</b> ensch- <b>M</b> aschine- <b>I</b> nteraktion
MOM	<b>M</b> essage <b>O</b> riented <b>M</b> iddleware
MSEL	<b>M</b> aster <b>S</b> cenario <b>E</b> vent <b>L</b> ist
MST	<b>M</b> inimal <b>S</b> panning <b>T</b> ree
NGO	<b>N</b> on- <b>g</b> overnmental <b>O</b> rganization
NIMS	<b>N</b> ational <b>I</b> ncident <b>M</b> anagement <b>S</b> ystem
OMT	<b>O</b> bject <b>M</b> odel <b>T</b> emplate
OODA	<b>O</b> bserve- <b>O</b> rient- <b>D</b> ecide- <b>A</b> ct
OR	<b>O</b> perations <b>R</b> esearch
PDES	<b>P</b> arallel <b>D</b> iscrete <b>E</b> vent <b>S</b> imulation
PDCA	<b>P</b> lan- <b>D</b> o- <b>C</b> heck- <b>A</b> ct
RDF	<b>R</b> esource <b>D</b> escription <b>F</b> ramework
RPD	<b>R</b> ecognition- <b>P</b> rimed <b>D</b> ecision Model
RTI	<b>R</b> untime <b>I</b> nfrastructure
RTW	<b>R</b> ettungsb <b>w</b> agen
SGML	<b>S</b> tandard <b>G</b> eneralized <b>M</b> arkup <b>L</b> anguage
SISO	<b>S</b> imulation <b>I</b> nteroperability <b>S</b> tandards <b>O</b> rganization
SL	<b>S</b> emantic <b>L</b> anguage
SOAP	<b>S</b> imple <b>O</b> bject <b>A</b> ccess <b>P</b> rotocol
SOM	<b>S</b> imulation <b>O</b> bject <b>M</b> odel
SOP	<b>S</b> tandard <b>O</b> perating <b>P</b> rocedures
TCP	<b>T</b> ransmission <b>C</b> ontrol <b>P</b> rotocol
TSP	<b>T</b> raveling <b>S</b> alesman <b>P</b> roblem
UDP	<b>U</b> ser <b>D</b> atagram <b>P</b> rotocol
UML	<b>U</b> nified <b>M</b> odeling <b>L</b> anguage
W3C	<b>W</b> orld <b>W</b> ide <b>W</b> eb <b>C</b> onsortium
WADE	<b>W</b> orkflows and <b>A</b> gents <b>D</b> evelopment <b>E</b> nvironment
WOLF	<b>W</b> orkflow <b>L</b> ifecycle management environment
XML	<b>E</b> xtensible <b>M</b> arkup <b>L</b> anguage
XPDL	<b>X</b> ML <b>P</b> rocess <b>D</b> efinition <b>L</b> anguage
XPS	<b>E</b> xpertensysteme
XSD	<b>X</b> ML <b>S</b> chema <b>D</b> efinition

# 1. Einleitung

## 1.1. Untersuchungsgegenstand

Die Bewältigung von Schadensereignissen, ausgelöst durch Naturgewalten oder menschliche Einflüsse, stellt Gemeinschaften immer wieder vor große Herausforderungen. Laut Studien nimmt die Gefahr durch die weltweiten klimatischen Veränderungen und eine stärkere Besiedelung gefährdeter Gebiete stetig zu [BBC04]. Zahlen der Münchener Rückversicherung aus der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts zeigen ein stetig steigenden Trend: von 75,5 Milliarden \$ in den 1960er- über 138,4 Milliarden \$ in den 1970er- hin zu 213,9 Milliarden \$ in den 1980er- bis zu 659,9 Milliarden \$ in den 1990er-Jahren [TK07]. Können die Auswirkungen eines Ereignisses nicht mehr mit den lokal verfügbaren Ressourcen bewältigt werden, weitet sich eine Schadenslage zu einer Katastrophe aus. Das *United Nations Department of Humanitarian Affairs (UN-DHA)* definiert eine Katastrophe als:

“A serious disruption of the functioning of a community or a society causing widespread human, material, economic or environmental losses which exceed the ability of the affected community or society to cope using its own resources.” [UN 92]

Gerade der Punkt nicht ausreichender Ressourcen wiederholt sich in weiteren Definitionen (vgl. [Wor95, Koo98]). Als allgemeines Abgrenzungsmerkmal von einer normalen Schadenlage ist zu sehen, dass zur Bewältigung der Situation das Hinzuziehen von überörtlichen Kräften bzw. besonderer Strukturen des Katastrophenschutzes (Führungseinheiten, Personal und Material) notwendig ist [Kat99]. In der Literatur werden die Begriffe Großschadensfall oder Großschadenslage synonym zu Katastrophe verwendet. Im Rettungsdienst versteht man darunter ein Ereignis „mit einer so großen Anzahl von Verletzten oder Erkrankten sowie anderen Geschädigten oder Betroffenen, dass es mit der vorhandenen und einsetzbaren Vorhaltung des Rettungsdienstes aus dem Rettungsdienstbereich nicht bewältigt werden kann“ [DIN02].

Eine Katastrophe ergibt sich somit aus einer Kombination des Umfangs eines Schadensereignisses, der Anfälligkeit (oder Vulnerabilität) des betroffenen Gebietes sowie den nicht ausreichenden Ressourcen, um die Auswirkungen entsprechend zu reduzieren. Naturgewalten, die schwer vorhersehbar sind und in unregelmäßigen Intervallen oder an verschiedensten Orten auftreten, haben das Potenzial eine Katastrophe auszulösen. Es muss keine ganze Nation betroffen sein, wie beispielsweise Haiti

2009. Sind die in einer Region verfügbaren Ressourcen nicht ausreichend, um die Auswirkung eines Schadensereignisses zu bewältigen, oder ist das Krisenmanagement unzureichend, tritt dort zwangsläufig eine Katastrophenlage ein. Dieses Risiko ist nicht nur auf Entwicklungs- oder Schwellenländer begrenzt. Wie der Hurrikan Katrina 2005 gezeigt hat, können auch Industrienationen betroffen sein. Auch für Deutschland sind Katastrophenlagen vorstellbar, wie die Szenarien der zweijährlich stattfindenden *Länderübergreifende Krisenmanagementübung (LÜKEX)* beispielhaft zeigen [LUE15]. Für die Bewältigung einer Katastrophe hat sich der Begriff des Katastrophenmanagements eingebürgert. Darunter ist „die Summe aller Maßnahmen und Aktionen der Vor- und Nachsorge zur Verhinderung oder Bewältigung einer Katastrophe“ [SKK03] zu verstehen. Dies unterstreicht, dass die Handlungen als Reaktion auf eine drohende oder bereits eingetretene Katastrophe untrennbar miteinander verbunden sind. Das Katastrophenmanagement beinhaltet Konzepte, welche alle Aktivitäten einschließen, die vor, während oder nach einer Katastrophe ausgeführt werden.

Bei der Bewältigung von Notfallsituationen sind in der Einsatzleitung heute Computersysteme Alltag. Sie unterstützen die Organisation von Ressourcen, die Darstellung der aktuellen Situation sowie die Kommunikation. Bei der Unterstützung einer Katastrophenbewältigung stoßen diese Systeme allerdings an ihre Grenzen [BCD<sup>+</sup>03]. Ursächlich dafür ist unter anderem, dass von der Katastrophe betroffene Organisationen mit Handlungen reagieren müssen, die von ihrer gewohnten Arbeitsweise abweichen. Dies erzeugt bei den Mitgliedern dieser Organisationen erhöhten Stress und erzeugt Unsicherheit. Dazu kommen Erschöpfung, Zeitdruck und die Last der Verantwortung für Entscheidungen mit oft gravierenden Auswirkungen. Dabei ist die Situation aufgrund der bestehenden Dynamik hochkomplex und schlecht vorhersagbar [Mur02, PF99]. Ein System zur Unterstützung muss diese Punkte berücksichtigen und sie beseitigen oder zumindest abmildern. Die vorliegende Arbeit konzentriert sich dabei auf die Bewältigung der Folgen von Starkbeben in einer urbanen Region.

## 1.2. Fragestellung und vorangegangene Arbeiten

Katastrophenlagen bzw. ihre Folgen bedrohen viele Menschenleben und sind für die betroffene Gesellschaft eine schwer zu bewältigende Aufgabe. Fehlentscheidungen haben oft weitreichende Auswirkungen. Neben dem Problem der knappen Ressourcen müssen Entscheidungen unter Zeitdruck in einer hoch dynamischen Situation auf Basis unsicherer Informationen gefällt werden. Entsprechend ist die Bestimmung optimaler Lösungen so gut wie unmöglich und bereits die Einordnung von Entscheidungen als gut ist eine schwierige Aufgabe. Vor diesem Hintergrund werden in der vorliegenden Arbeit die Möglichkeiten von computergestützten Hilfestellungen untersucht. Das Szenario, anhand dessen dieses untersucht wird, sind Erdbebenka-

tastrophen.<sup>1</sup> Die zu unterstützende Zielgruppe sind die Entscheidungsträger<sup>2</sup> einer Einsatzleitung auf der operativ-taktischen Ebene. Die betrachteten Aspekte reichen von einem Modell zur Unterstützung der Ressourcenallokation über die Anforderungen an ein Entscheidungsunterstützungssystem bis hin zu seiner Systemarchitektur und Umsetzung.

Die initiale Frage der Forschungsarbeiten zum Katastrophenmanagement am *Institut für Technologie und Management im Baubetrieb* war die nach einer optimalen Ressourcenzuordnung. Dies geht zurück auf die Arbeit von Rickers [Ric98] die ein Modell zur Ressourcenzuordnung entwickelte; umgesetzt wurde dieses in einer monolithisch aufgebauten Applikation, die eine Lösung für ein vorgegebenes Szenario berechnet. Basierend auf diesen Ergebnissen entwickelte Fiedrich [Fie04] ein *Multiagentensystem (MAS)* auf Basis des IEEE-Standards *High Level Architecture (HLA)*. Es erweitert den Ansatz von Rickers um ein modulares Simulationssystem aus Softwareagenten, welches die dynamische Entwicklung einer Katastrophenumwelt abbildet. Berücksichtigt werden die Handlungen von Einsatzressourcen, die Auswirkungen von Gefahrenquellen und die Arbeit der Einsatzleitung. Innerhalb des simulierten Szenarios ist die Bestimmung einer annähernd optimalen Ressourcenzuordnung für ein vorgegebenes Schadens- und Ressourcenszenario möglich. Die dazu entwickelten Simulatoren für Lageentwicklung und Einsatzressourcen wurden für das in dieser Arbeit vorgestellte System adaptiert (siehe Abschnitt 6.2), ebenso wie der Erdbeben-Schadenssimulator EQSIM [FLL<sup>+</sup>02]. Dieser baut auf der HAZUS-Methodologie zur Abschätzung von Erdbebenschäden der *Federal Emergency Management Agency (FEMA)* auf. [FEM99] EQSIM wandelt das Verfahren ab, sodass einzelne Gebäude berücksichtigt werden. Eingangsparmeter dafür sind die geophysikalischen Parameter eines Bebens, die geologische Beschaffenheit des betroffenen Gebietes, die baulichen Eigenschaften der Gebäude, deren Nutzung und die Anzahl der anwesenden Personen. Die Schadenssimulation kann u. a. genutzt werden für die Entwicklung von Übungsszenarien, die Bestimmung von Risikokarten zur Vorbereitung sowie die Kosten-Nutzen-Analyse von Verstärkungsmaßnahmen bei Gebäuden [ZG07].

### 1.3. Zielsetzung

Die der Arbeit zugrunde liegenden Forschungsergebnisse bauen auf mehreren Arbeiten im Bereich der Katastrophenbewältigung. Sie erweitert deren Erkenntnisse um den Aspekt einer Nutzbarkeit im realen Einsatz. Die Modelle von Fiedrich [Fie04] und Rickers [Ric98] basieren auf einer simulierten Umwelt und bieten für die

---

<sup>1</sup>Über Erdbeben hinaus ist das realisierte System auch in andere Gefahrenlagen wie Hochwasser nutzbar.

<sup>2</sup>Zur besseren Lesbarkeit wird in dieser Forschungsarbeit bei Personenbezeichnungen stets die männliche Form verwendet. Damit werden alle Personen, unabhängig vom Geschlecht, einbezogen.

dort ablaufenden Szenarien eine optimale Lösung. Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Unterstützung des Entscheidungsprozesses eines realen Anwenders innerhalb einer realen Umwelt. Der Schwerpunkt liegt auf Hilfestellungen bei der Bewältigung von Katastrophen, mit dem Ziel eines möglichst effektiven sowie effizienten Einsatzes der verfügbaren Ressourcen. Es wird allerdings auch allgemein betrachtet, bei welchen Aufgaben und in welcher Weise Software Entscheidungsträger im Katastrophenschutz unterstützen kann. Die prototypische Umsetzung der theoretischen Forschungserkenntnisse und die dabei gewonnenen Einsichten bezüglich der Softwarearchitektur eines solchen Systems, sind wichtige Aspekte der Arbeit.

## Konzeption

Um die Anforderungen und Anwendungsgebiete des Systems zu bestimmen, ist zunächst eine genauere *Kenntnis der Domäne* notwendig. Dabei sind die Situation im Zivilschutz im Allgemeinen sowie die besonderen Herausforderungen bei der Katastrophenbewältigung im Speziellen zu berücksichtigen. Um Entscheidungsträger bei der Bewältigung dieser Herausforderungen zu unterstützen, muss der Prozess verstanden werden, in dem sie ihre Entscheidungen treffen. Aus dem Verständnis der Domäne und dem zugrunde liegenden Entscheidungsprozess lassen sich Einsatzbereiche für eine Entscheidungsunterstützung ableiten.

Fakten sind die Grundlage für Entscheidungen, ihre Strukturierung im System wird durch das *Datenmodell* bestimmt. Die Daten, auf denen die Fakten basieren, stammen aus einer realen Umwelt und beruhen auf Meldungen von Menschen. Sie weisen daher eine gewisse *Unschärfe* auf. Ein wichtiger Aspekt im Datenmodell ist daher die Berücksichtigung von Unschärfe bei Informationen. Hierbei ist eine Form zu finden, die sich für einen Menschen verständlich darstellen lässt und gleichermaßen durch ein Programm auswertbar ist. Die Präsentation von Informationen, auch die ihrer Unschärfe, ist von entscheidender Bedeutung für die Interaktion zwischen System und Anwender, da die Wahrnehmung einer Situation die Basis für Entscheidungen ist. Die adäquate Darstellung von Informationen stellt daher die Grundlage für eine effektive Entscheidungsunterstützung dar.

Wie die Anforderungsanalyse der Domäne ergab, basieren Entscheidungen im Zivilschutz oft auf implizitem *Expertenwissen*. Um Hilfestellung geben zu können, muss das Datenmodell eine Möglichkeit bieten, dieses Wissen im System nutzbar zu machen. Neben den dynamischen Fakten muss somit eine Darstellung für Wissen definiert werden. Außerdem muss das System eine Möglichkeit bieten, die Fakten in Kombination mit diesem Wissen zu verarbeiten, um daraus die Hilfestellungen der Entscheidungsunterstützung abzuleiten. Dabei müssen die Routinen zur *Datenverarbeitung* mit dem Modell der Unschärfe von Fakten umgehen können.

Die Recherche nach existierenden Systemen im Zivilschutz zeigt eine heterogene Systemlandschaft mit Inselcharakter. Verschiedenste Systeme sind lokal begrenzt

im Einsatz und stehen bei einem überregionalen Einsatz teilweise unverbunden nebeneinander. Um für dieses Problem einen Lösungsvorschlag zu liefern, ist *Interoperabilität* bei der Konzeption der *Systemarchitektur* eine Hauptanforderung. Diese beinhaltet die Möglichkeit einer Integration verschiedener externer Informationsquellen und Systeme. Außerdem soll die Architektur flexibel aufgebaut sein, um ihre Wiederverwendbarkeit und Anpassbarkeit über das Gebiet des Katastropheneinsatzes hinaus zu ermöglichen. Das implementierte System soll sich nicht auf Erdbeben beschränken, sondern für beliebige Gefahrenlagen nutzbar sein.

### Umsetzung

Die Architektur ordnet sich den Anforderungen an Interoperabilität, Wiederverwendbarkeit und Anpassbarkeit unter. Das System soll flexibel über die Phase der Katastrophenbewältigung hinaus nutzbar sein. Datenformate sind im Hinblick auf eine möglichst einfache Integration in andere Systeme konzipiert. Die verwendeten Protokolle zum Datenaustausch dürfen nicht proprietär sein, um eine leichte Integration neu entwickelter oder externer Komponenten in ein bestehendes System zu ermöglichen. Eine wichtige Erkenntnis der Konzeption ist die Tatsache, dass in der vorliegenden Domäne ein Entscheidungsunterstützungssystem nicht auf alle relevanten Informationen Zugriff hat. Um Fehlentscheidungen aufgrund falscher bzw. falsch verstandener Hilfestellungen zu vermeiden, ist eine enge Kollaboration mit dem Anwender notwendig. Das in der Konzeption entwickelte Modell des Entscheidungsprozesses sollte daher als Integrationspunkt der verschiedenen Entscheidungshilfen in ein gesamtheitliches System dienen. Dieses soll in den menschlichen Arbeits- und Entscheidungsprozesse integriert sein und mit seinen Hilfestellungen den Menschen bei der Entscheidungsfindung leiten, ohne ihn zu bevormunden. Die nach diesen Gesichtspunkten entwickelte Referenzimplementierung wird im Weiteren als *Disaster Management Tool (DMT)* bezeichnet.

## 1.4. Aufbau der Arbeit

Neben den Ausführungen der Forschungsschwerpunkte enthält die Ausarbeitung darauf hinführende Grundlagenkapitel, die bei entsprechendem Hintergrundwissen zum Verständnis der Forschungsergebnisse nicht notwendig sind. Um das Einsatzfeld des Systems genauer zu umreißen, werden in Kapitel 2 die Abläufe und Phasen bei der Bewältigung einer Katastrophe sowie die Strukturen ihres Managements beschrieben. In Kapitel 3 erfolgt die Betrachtung des Verlaufs von Entscheidungsfindungsprozessen in Katastrophensituationen. Aus in der Literatur vorhandenen Modellen, wird ein auf die Fragestellung der Arbeit angepasstes Prozessmodell abgeleitet. Basierend auf den zuvor erarbeiteten Grundlagen werden in Kapitel 4 die Problemstellung präzisiert und passende Lösungsansätze aufgezeigt, die in den nachfolgenden Kapiteln ausgeführt werden.

Die originären Ergebnisse der Forschungsarbeit sind in Kapitel 5 bis 9 zu finden. Kapitel 5 enthält das zugrunde liegende Datenmodell der Umwelt und der darin agierenden Ressourcen sowie den Aufbau der Fakten- und Wissensbasis als dem zentralen Ort für die Ablage von Daten und Verarbeitungsroutinen. Die Modellierung unscharfer Informationen wird ebenfalls berücksichtigt. Die Fakten- und Wissensbasis speichert Expertenwissen in Form von Regeln, auf denen die Entscheidungshilfen des Systems basieren. Diese beschreibt Kapitel 7 und 6, wobei unterschieden wird zwischen aktiven Hilfestellungen, die konkrete Handlungsempfehlungen darstellen, und passiven, die lediglich die Wahrnehmung in einer Entscheidungssituation verbessern. Die Hilfestellungen werden dem Anwender anhand des in Unterabschnitt 3.4.2 beschriebenen kooperativen Entscheidungsprozesses präsentiert. Er basiert auf dem in Kapitel 3 entwickelten Modell eines Entscheidungsprozesses bei der Katastrophengewältigung. Die technische Umsetzung der beschriebenen Methoden und Modelle wird in Kapitel 9 dargestellt. Darin wird gleichzeitig eine Referenzarchitektur für Interoperabilität zwischen Systemen im Katastrophenschutz konzipiert. In Kapitel 10 werden die Datenquellen der Arbeit sowie die Evaluationen des DMT, der prototypischen Umsetzung der Forschungsergebnisse, erörtert. Die Zusammenfassung der Ergebnisse und ein Ausblick auf weitere Forschungsfelder im Themenspektrum beschließt in Kapitel 10 die Ausführungen.

## 2. Die Domäne des Katastrophenmanagements

Um Entscheidungsunterstützung für eine Problemstellung bereitzustellen, ist ein Verständnis der betroffenen Domäne nötig. Im vorliegenden Fall ist dies die Unterstützung von Entscheidern bei der Bewältigung von Katastrophenereignissen. Die Verantwortung für die Bewältigung einer solchen Lage liegt in den meisten Ländern in den Händen staatlicher Zivilschutzorganisationen. Deren Struktur und Organisation sind bei der Entscheidungsunterstützung genauso zu berücksichtigen wie der eigentliche Führungsvorgang in der Einsatzleitung. Aus den Aufgaben der für die Katastrophenbewältigung verantwortlichen Personen ergeben sich weitere Anforderungen an ein unterstützendes System. Die folgenden Abschnitte beleuchten diese Aspekte am Beispiel des deutschen, des amerikanischen und des rumänischen Zivilschutzes.

### 2.1. Führungsstruktur

Die Führungsstrukturen des Zivilschutzes sind Adaptionen von hierarchisch autoritären Organisationsstrukturen aus dem militärischen Bereich [NAT01]. Sie legen Beziehungen zwischen Einheiten wie z. B. Weisungsbefugnisse nach dem *Command and Control* Prinzip genau fest. Das Prinzip umfasst alle Handlungen zur Planung und Reaktion sowie die dafür nötigen Funktionen, um eine effektive Bekämpfung einer Gefahrenlage im Verbund mehrere unterschiedlicher Organisationen zu ermöglichen. Zentrales Element sind Entitäten mit Informationsverarbeitungs- und Entscheidungsbefähigung, die *Entscheidungsträger (Decision Maker (DM))*. Sie verantworten ihnen zugewiesene Zuständigkeiten (einen Bereich in der Organisationsstruktur und die beinhaltenden Ressourcen) und entscheiden für diese während eines Einsatzes, was zu tun ist und von wem. Hierarchien geben Befehlsbefugnisse zwischen den Entscheidungsträgern auf verschiedenen Hierarchieebenen vor bzw. legen fest, wer befugt ist, mit wem zu reden, also wer z. B. für eine spezifische Hilfsanforderung (z. B. Krankenwagen zur Sicherung eines Feuerwehreinsatzes) verantwortlich ist (vgl. [MLR<sup>+</sup>06, RGL<sup>+</sup>02]). Das militärische System wurde dabei an die komplexe und dynamische Situation während der Katastrophenbewältigung angepasst. Dies führte in den USA zum *Incident Command System (ICS)*, welches viele amerikanische Bundesstaaten adaptiert haben [Com93]. In Deutschland stellt die *Dienst-*

*vorschrift 100 (DV 100)* [Kat99] eine Adaption militärischer Führungsprinzipien in die zivile Katastrophenbewältigung dar.

### 2.1.1. Organisationsstruktur

Ziel der Organisationsstruktur im Katastrophenfall ist es, eine Zusammenarbeit zwischen den Mitarbeitern unterschiedlicher Zivilschutzorganisationen eines Landes zu ermöglichen. Aufgrund der militärischen Herkunft ergeben sich zwischen unterschiedlichen Statten oft Gemeinsamkeiten: Die Gliederung ist streng hierarchisch und die Anzahl der Stufen ist meist abhängig vom Ausmaß des Schadensereignisses bzw. von den zu führenden Kräften. In Deutschland legt die DV100 vier Führungsstufen A bis D fest. Im Fall eines Katastrophenereignisses kommt die höchste Führungsstufe D zum Einsatz, bei der ein Führungsstab als Einsatzleitung mehrere Verbände führt. Die auffälligste Gemeinsamkeit bei den Hierarchieebenen der Organisationsstrukturen in den USA, Deutschland und Rumänien ist die Trennung zwischen den politischen Entscheidern und den Führungsorganen des Zivilschutzes. Die konkreten Entscheidungen über die Koordinierung von Einsatz- und Hilfskräften erfolgen immer durch Führungsorgane des Zivilschutzes. Unterschieden wird zwischen strategischen, taktischen und operativen Maßnahmen.

Strategische Planung besteht aus der Leitung aller verfügbaren Ressourcen mit einer vorgegebenen Zielsetzung [BH05]. Statt einzelne Ressourcen zu verwalten, sind großflächig Maßnahmen und Ziele für ihren Einsatz zu bestimmen. Die Entscheidung, ob ein Polder<sup>1</sup> geflutet werden soll, um eine Stadt vor einer Hochwasserwelle zu schützen, ist ein Beispiel für eine strategische Entscheidung im Zivilschutz. Strategische Entscheidungen werden typischerweise auf den höheren Hierarchieebenen wie der Politik bzw. dem höheren Management getroffen. In der Wirtschaft wird eine strategische Entscheidung im Hinblick auf einen Zeitraum von zwei bis acht Jahren gefällt, beim Katastrophenmanagement dagegen liegt er bei mehreren Stunden bis zu wenigen Tagen. Dabei werden nicht die einzelne Gefahrenbereiche, sondern das gesamte betroffene Gebiet sowie mögliche Auswirkungen auf Nachbargebiete betrachtet. Es erfolgt keine direkte Zuordnung von Ressourcen zu Einsatzstellen, sondern eine Planung des Bedarfs bzw. der frei werdenden Ressourcen anhand der aktuellen Informationen und Ziele. Neben der Verwaltung verfügbarer Ressourcen beinhaltet dies das Anfordern von Verstärkung durch externe Kräfte. Die strategische Ebene agiert auf der Basis von Informationen der taktischen Ebene, die ihrerseits die strategischen Zielsetzungen im taktischen Rahmen umsetzt. Die operativ-taktische Arbeit beinhaltet die Bildung von Einsatzschwerpunkten, die Ordnung des Raumes (Abschnittsbildung), die Ordnung der Kräfte (Bereitstellen von Einsatzkräften und Reserven im Einsatzraum), die Ordnung nach der Zeit (Reihenfolge von Maß-

---

<sup>1</sup>Ein Polder ist ein unbebautes, flaches Gelände, welches durch seine Flutung größere Mengen Hochwasser aufnehmen kann. Außerhalb dessen können diese Gebiete als Grünland oder für forstwirtschaftliche Zwecke genutzt werden.

nahmen, Ablösen von Einsatzkräften durch Reserven) und die Ordnung der Information (Aufbau und Betrieb einer Kommunikationsstruktur) (siehe [Kat99]). Eine Unterscheidung zwischen operativen und taktischen Arbeitsstellen ist schwierig. Die Arbeit im Führungsstab, in dem die Gesamtheit der Gefahrenbereiche betrachtet wird, hat allerdings einen stärkeren taktischen Charakter als die Arbeit des Einsatzleiters vor Ort, der z. B. einen Gebäudebrand bekämpft und dabei eher operative Entscheidungen fällt.

Das *Incident Command System (ICS)* aus den USA stellt eine Formalisierung der Management Strukturen für das Führen, Leiten und Koordinieren während Katastropheneinsätzen dar. Es basiert auf Erkenntnissen aus einer Serie von Waldbränden in Kalifornien in den 1970er-Jahren [BR01]. Das dabei entworfene Modell für eine Zusammenarbeit zwischen Organisationen wurde zum ICS formalisiert. Dessen Grundstruktur besteht aus einer Managementebene, die strategische Ziele festlegt und Ressourcen anfordert und freigibt. Darunter gibt es die vier Bereiche Planung (Planning), Einsatz (Operations), Logistik (Logistic) sowie Verwaltung und Finanzen (Finance and Administration). Der Bereich Einsatz setzt die strategischen Vorgaben in taktische Befehle an die Ressourcenverantwortlichen um. Auf der Planungsebene werden daraus konkrete Handlungsanweisungen, deren Ausführung überprüft werden kann. Die Logistik unterstützt den Einsatz, indem sie notwendige bzw. angeforderte Ressourcen zur Verfügung stellt. Die Aufgaben des Bereichs Verwaltung und Finanzen ergeben sich aus seiner Bezeichnung. Diese Struktur bleibt immer gleich und wird, abhängig von der Größe und Art des Vorfalls, mit Personal besetzt. Außerdem umfasst das ICS einheitliche Begriffsdefinitionen, Formulare sowie definierte Abläufe für verschiedene Aufgaben, sogenannte *Standard Operating Procedures (SOPs)*. Das ICS ist Bestandteil des *National Incident Management System (NIMS)* [Sec04], welches eine landesweite Vorgabe für die Organisation von Katastropheneinsätzen in den USA bildet.

Die DV100 gibt in Deutschland die Rahmenbedingungen für die Struktur und die Organisation der Gefahrenabwehr vor. Sie wird auf Landesebene in Vorordnungen umgesetzt. Die Gliederung der Einsatzleitung erfolgt anhand einer Struktur vorgegebener Verantwortlichkeiten. Diese Verantwortungsbereiche werden als Sachgebiete bezeichnet. Das *Sachgebiet 1 (S1) Personal und innerer Dienst* verantwortet die Beschaffung und Verwaltung des Personals sowie die Organisation des inneren Dienstes im Stab. Aufgabe des *S2 Lage* ist die Lageverwaltung; dies beinhaltet Informationsbeschaffung, -darstellung und -verteilung sowie die Einsatzdokumentation. Der Verantwortungsbereich des *S3 Einsatz* ist die Einsatzdurchführung. Auf Basis der Beurteilung der Lage werden Entscheidungen aufgrund strategischer Vorgaben getroffen und in Befehle an die Einsatzkräfte umgesetzt. Unterstützt wird der Entscheidungsträger dabei durch einen Fachberater, die jeweils für eine spezifische Ressourcenklasse und die durch sie bekämpften Gefahrentypen verantwortlich ist. Das *S4 Versorgung* ist für die Logistik des Einsatzes verantwortlich. Verantwortlichkeiten sind die Bereitstellung von Versorgungs- und Hilfsmitteln sowie die Verpflegung und Unterbringung der Einsatzkräfte. Abhängig vom Umfang der Gefahrenlage werden

optional zwei weitere Sachgebiete eingerichtet. Das *S5 Presse- und Medienarbeit* koordiniert die Informationsarbeit mit der Presse, den Medien und der Bevölkerung. *S6 Information und Kommunikation* hat die Aufgabe, die technischen und logistischen Voraussetzungen zur Informationsverteilung innerhalb des Stabes sowie aus dem Stab an dessen Umwelt zu schaffen. Während die Sachgebiete immer gleich sind, hängt die personelle Zusammensetzung und der Verantwortungsbereich eines Stabes vom Umfang der verantworteten Gefahrenlage ab. Für ein lokales Feuer reicht ein Führungstrupp aus. Dagegen muss bei einer Katastrophe ein Führungsstab gebildet werden, dem mehrere Führungstrupps unterstehen und der seine strategischen Ziele durch die politisch Verantwortlichen erhält. Diese setzt er auf operativ-taktischer Ebene in eine Ordnung des Raums und Zuordnungen von Ressourcen um.

Die Anlehnung an die militärische Einsatzleitung bei der Aufteilung in Sachgebiete, wie in der DV100 beschrieben, erfolgt in ähnlicher Form in den USA und Rumänien. In allen Ländern sind Lageverwaltung und Einsatzdurchführung eigenständige Organisationseinheiten. Die Hilfestellungen durch das DMT konzentrieren sich auf diese beiden Einheiten, wobei sich die Entscheidungsunterstützung an den für die Einsatzdurchführung verantwortlichen Entscheidungsträgern orientiert. Die folgenden Abschnitte beleuchten die Aufgaben der Entscheidungsträger und das Thema Informationsverwaltung, um daraus notwendige Hilfestellungen abzuleiten.

### 2.1.2. Informationsverwaltung und Übertragung

Die Qualität der verfügbaren Daten und ihre Verarbeitung ist ausschlaggebend für gute Entscheidungen. Dies ist umso relevanter bei Handlungen mit großer Tragweite wie bei der Katastrophenbewältigung. Der Lagefeststellung kommt daher eine wichtige Rolle zu, wie auch ein Zitat aus der DV100 belegt: „Die sorgfältige Lagefeststellung ist das Fundament eines jeden Einsatzerfolges“ [Kat99]. Um die Maßnahmen zur Erkundung effektiv umsetzen und die Ergebnisse verständlich darstellen zu können, müssen Informationen übertragen und aufbereitet werden.

In einer Einsatzleitung ist das Melde- und Befehlswesen für die Informationsübermittlung nach innen und außen verantwortlich. Wie bei den organisatorischen Strukturen gibt es auch für die Informationsübermittlung oft genaue Vorgaben. Führungssysteme wie ICS oder DV100 liefern Vorlagen für Meldungen und Befehle. Sie legen für den Inhalt notwendige und optionale Daten fest. Oft werden auch die Form der Kodierung sowie die Struktur vorgegeben.<sup>2</sup> Weiterhin wird anhand des Inhalts festgelegt, wie bzw. an wen Nachrichten innerhalb der Einsatzleitung zu verteilen sind. In Deutschland z. B. wird ein Vierfach-Vordruck für Meldungen verwendet, dessen Durchschläge an vorgegebene Positionen im Stab verteilt werden. Nach Inhalt und Aufbau werden verschiedene Arten von Meldungen unterschieden. *Schadensmeldungen* enthalten Informationen zur Position, zu den verletzten und betroffenen Personen, zu strukturellen Schäden, blockierten Straßen, Bränden sowie zu anderen

---

<sup>2</sup>Ein Beispiel für eine Vorlage findet sich in Abschnitt A.2.

Gefahrenquellen wie z. B. gefährlichen Stoffen. Anhand der Quelle einer Meldung lässt sich qualifizieren, ob sie auf eigener Wahrnehmung beruht, von dritter Stelle stammt oder lediglich eine Vermutung darstellt. Die *Statusmeldung* einer Einheit, welche regelmäßig bzw. bei jeder Lageänderung zu erfolgen hat, informiert über den Fortschritt und den Vollzug von Aufträgen sowie die Einsatzfähigkeit der Ressource. *Befehle* an Einheiten bestehen aus dem Adressat und dem zu erfüllenden Auftrag. Optional kann der Auftrag durch genau definierte Ziele oder die zu verwendenden Mittel konkretisiert werden. Die Vorgaben bezüglich Inhalt und Form sowie die festen Verteiler sind gut geeignet für die Umsetzung in Form einer rechnerbasierten Informationsübermittlung. Dies gilt auch für die Verarbeitung der Nachrichten, allerdings sind hierbei die unterschiedliche Glaubwürdigkeit bzw. Qualität der Informationen zu berücksichtigen.

Die Lagedarstellung präsentiert das Ergebnis der Lagefeststellung in einer Lagekarte. Dort werden örtliche Verhältnisse, Schadensgebiet bzw. Gefahrenbereiche sowie Einsatzkräfte und deren Bereitstellungsräume in einer topografischen Karte angezeigt. Dazu wird ein vordefinierter Satz an taktischen Zeichen eingesetzt. Innerhalb einer Einsatzleitung können verschiedene Darstellungsformen genutzt werden, wenn z. B. eine einzelne Einsatzstelle im Detail betrachtet werden soll. Weiterhin hat die für die Lagedarstellung verantwortliche Stelle die Einsatzübersicht und die Einsatzpläne zu verantworten und den Einsatzverlauf in einem Einsatztagebuch zu dokumentieren. Da während eines Einsatzverlaufes Schichtarbeit herrscht und daher nicht immer dieselben Personen eine Position besetzen, ist neben einer Übergabe auch die Historie des Einsatzes eine wichtige Information, um Entscheidungen treffen zu können. Die Lagedarstellung basiert auf standardisierten Darstellungsformen und Vorgehensweisen. Sie eignet sich daher ebenfalls gut für eine Rechnerunterstützung. Auch hier muss die Glaubwürdigkeit und Qualität von Informationen berücksichtigt werden, da sich daraus z. B. ihre Relevanz bezüglich einer Darstellung auf der Lagekarte ergibt. Dazu gehört auch die Berücksichtigung von widersprüchlichen Informationen. Um hierbei ggf. folgenschwere Fehler zu vermeiden, ist bei einer automatisierten Darstellung zumindest die Überwachung durch einen Menschen notwendig.

### 2.1.3. Führen und Leiten durch Entscheidungsträger

Genau wie die Organisationsstruktur orientiert sich die Führungsarbeit der Entscheidungsträger im Katastrophenschutz an militärischen Vorbildern. Daher arbeiten Entscheidungsträger nach dem Prinzip des *Führens und Leitens* (engl. *Command & Control* [NAT01]). *Führen* wird verstanden als die Einflussnahme auf die Entscheidungen und das Verhalten anderer Menschen mittels eines steuernden und richtungsweisenden Einwirkens, mit dem Zweck, vorgegebene aufgabenbezogene Ziele zu verwirklichen. Konkret sollen die aufgrund der Organisationsstruktur dem Entscheidungsträger unterstellten Personen zu Handlungen veranlasst werden, die zur Erreichung eines gesetzten Zieles erforderlich sind. Bei einer Überschneidung der Zuständigkeiten von Entscheidungsträgern werden diese durch Synchronisierung und

Koordinierung ausgeräumt. Die *Leitung* im Einsatz ist im Kontext des Katastrophenschutzes das gesamtverantwortliche Handeln für eine Einsatzstelle bzw. einen Einsatzbereich und die dort eingesetzten Einsatzkräfte.

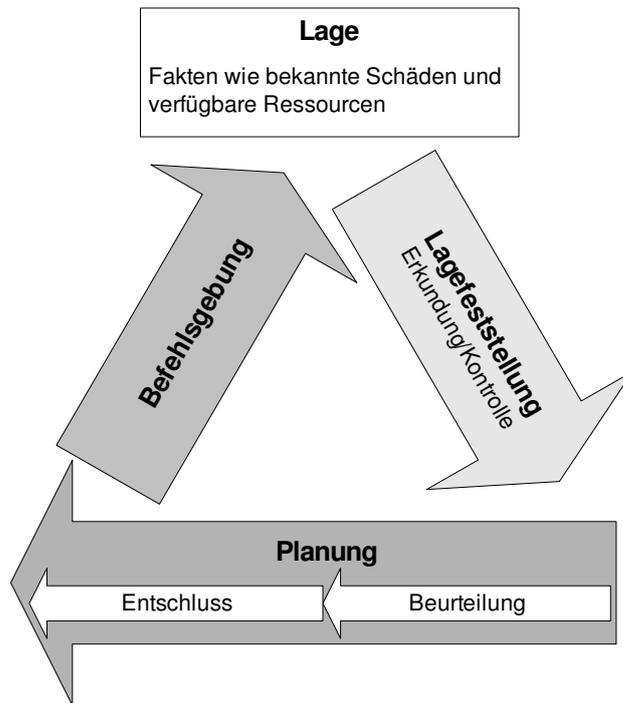


Abbildung 2.1.: Führungsvorgang

Zentrales Element der Führungsarbeit ist der Führungsvorgang. Für die Entscheidungsträger, denen die bestimmende Rolle im Prinzip des *Führens und Leitens* zukommt, ist er das zentrale Werkzeug. Ziel des Führungsvorgangs ist es, die zur Gefahrenabwehr notwendigen Mittel zur richtigen Zeit an den richtigen Ort zu bringen. Er folgt unabhängig von der Hierarchieebene dem in Abbildung 2.1 dargestellten Ablauf. Ausgangspunkt ist die Lage, bestehend aus den bekannten Fakten zur Situation, wie Schäden und verfügbare Ressourcen. Als erster Schritt erfolgt die *Lagefeststellung*, die aus einer *Erkundung* des Einsatzgebietes und der *Kontrolle* der bereits bekannten Einsatzstellen besteht. Die Erkundung umfasst das Sammeln und Aufbereiten der aktuell verfügbaren Informationen über Art und Umfang der im Einsatzgebiet vorliegenden Gefahrenlagen. Dies beinhaltet die Beurteilung der Dringlichkeit der einzelnen Gefahren und der Möglichkeiten ihrer Abwehr. Basierend auf einem möglichst umfangreichen Lagebild erfolgt die *Planung* der Handlungen, wobei zunächst die *Beurteilung* der Situation erfolgt, um daraus mögliche Ziele abzuleiten. Welche dieser Ziele wie realisiert werden, wird durch einen *Entschluss* festgelegt. Das Ergebnis der Planung ist die *Befehlsgebung* an unterstellte Stellen bzw. Einheiten. Abhängig von der Hierarchieebene erreichen diese Befehle direkt Einsatzkräfte oder eine unterstellte Einsatzleitung, welche daraus neue Entschlüsse und Befehle ableitet. Aus den resultierenden Aktivitäten der Befehlsgebung und den Entwick-

lungen in der Umwelt ergibt sich eine neue Lage, die in einen weiteren Durchlauf des Führungsvorgangs einfließt.

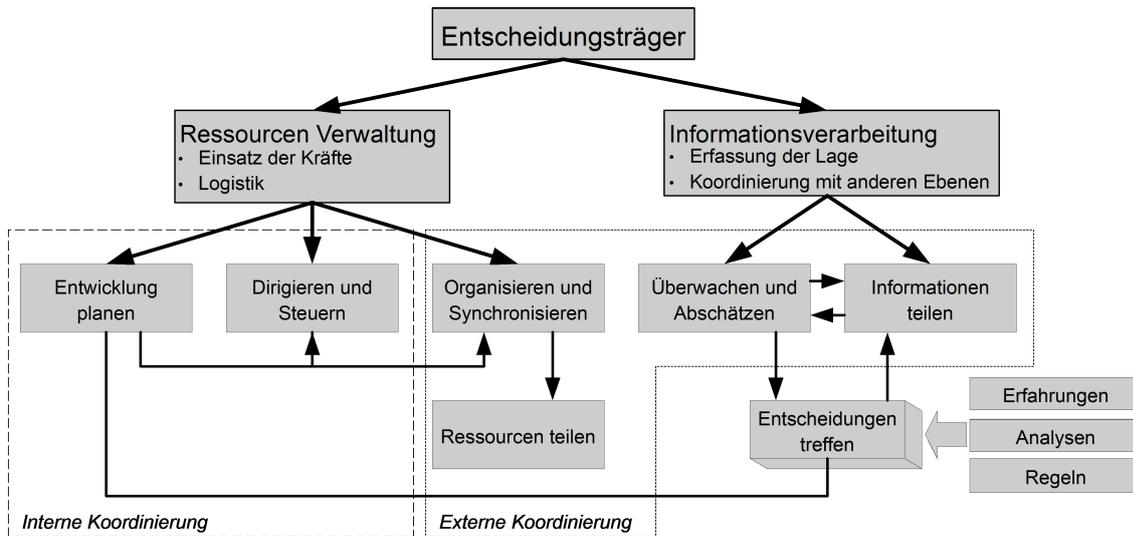


Abbildung 2.2.: Aufgaben eines Entscheidungsträgers nach [MLR+06]

Entscheidungsträger haben eine exponierte Position und ein breites Aufgabenspektrum, welches Abbildung 2.2 zeigt. Auf Basis verarbeiteter Informationen treffen sie Entscheidungen mit dem Ziel, die richtigen Handlungen zu erkennen und umzusetzen. Dabei kann das Erkennen der richtigen Handlung ein bewusstes und bedachtes Vorgehen sein, auf einer eingeübten Reaktion beruhen, auf ein dem Entscheider bekanntes Regelwerk zurückgehen oder auf seiner Intuition und Erfahrung fußen [RGL+02].<sup>3</sup> Grundlage ist die Informationsverarbeitung, bei der ein Entscheidungsträger die für ihn relevanten Fakten der Lage erfasst, indem er den Informationsfluss aus ihm untergeordneten Hierarchieebenen überwacht, einfordert und organisiert. Entsprechend versorgt er die ihm übergeordneten Hierarchieebenen mit Informationen. Eine Entscheidung führt meist zu einer unmittelbaren Handlung. Der Entscheidungsträger koordiniert die von ihm selbst verwalteten Ressourcen mit dem Ziel, sie möglichst effektiv und effizient zu nutzen. Dies beinhaltet auch, sich mit anderen Entscheidern und den von ihnen verantworteten Ressourcen abzustimmen sowie eigene Kräfte als Unterstützung an andere abzustellen.

## 2.2. Katastrophenmanagement

Die Bewältigung ist eine von mehreren Phasen des Katastrophenmanagements. In der Literatur werden je nach Autor vier bis sechs Phasen differenziert, die sich im Detailgrad, nicht aber im grundsätzlichen Ablauf unterscheiden [KPA02, VKK08,

<sup>3</sup>Der Prozess der Entscheidungsfindung wird in Kapitel 3 genauer erörtert.

IH07]. Häufig werden die Phasen als zeitlich gegliederter Zyklus wie in Abbildung 2.3 dargestellt. Dies trägt der Idee eines kontinuierlichen Lern- und Verbesserungsprozesses Rechnung, bei der nach der Bewältigung einer Katastrophe aus den Erfahrungen Verbesserungen der Handlungen bei einem neuerlichen Auftreten resultieren. Bei einem Vier-Phasen-Zyklus wird unterschieden zwischen Vorbeugung, Vorbereitung, Bewältigung und Wiederherstellung:<sup>4</sup>

- *Vorbeugung* umfasst Handlungen, die die Auswirkungen eines Schadensereignisses abzumildern oder zu vermeiden suchen, sodass es sich ggf. nicht zu einer Katastrophe ausweitet. Die langfristigen Maßnahmen sollen Risiken für Personen und Eigentum mindern und umfassen z. B. die Festlegung von Sicherheitsstandards, die Anpassung von Bebauungspläne sowie Versicherungen.
- Ziel der *Vorbereitung* ist es, die Fähigkeiten zur Bewältigung einer Katastrophe herzustellen bzw. zu verbessern. Dies beinhaltet die Aufklärung und Schulung der Bevölkerung, das Aufstellungen von Katastrophenplänen, die Installation von Warnsystemen, die Bereitstellung spezieller Infrastruktur zur Bewältigung der Katastrophe sowie Schulungen und Übungen von Einsatzkräften. Gerade für die Planung sind Vorhersagen und Szenarien hilfreiche Werkzeuge.
- Die *Bewältigung* umfasst Handlungen direkt vor, während sowie kurz nach der Katastrophe. Oberstes Ziel ist der Schutz von Menschenleben, nachrangig folgt die Minimierung von materiellen Schäden. Dies umfasst u. a. die Ausführung von Katastrophenschutzplänen, die Bereitstellung von medizinischen Hilfeleistungen und Notunterkünften, die Evakuierung von gefährdeten Gebieten sowie die Durchführung von Such-, Rettungs- und Feuerbekämpfungsmaßnahmen. Die Phase lässt sich weiter unterteilen in eine initiale Reaktion und die nachfolgende Schadensminderung. In der Reaktion gilt es, sich einen ersten Überblick über die Lage zu verschaffen. Auf dieser Grundlage werden Ressourcen zur Minderung der Schadensfolgen zugeordnet, wie z. B. Such- und Rettungseinheiten. Die Bewältigung ist abgeschlossen, wenn die Einsatzkräfte wieder ihre normale Arbeit aufnehmen können.
- Die Phase der *Wiederherstellung* und des Wiederaufbau beginnt, nachdem die akuten Gefahren beseitigt wurden, also wenige Tage oder Wochen nach einer Katastrophe (siehe [McL85, Pet85]). Ziel ist, den Menschen eine Rückkehr in ihr Leben vor der Katastrophe zu ermöglichen, indem Infrastruktur, Gebäude und soziale Sicherheit wiederhergestellt werden. Dies kann sehr langwierig sein, weshalb zwischen kurzfristigen und langfristigen Maßnahmen unterschieden wird. Durch kurzfristige Handlungen sollen vitale Strukturen in einem Mindestmaß wiederhergestellt werden. Den Zustand vor der Katastrophe wieder zu erreichen, wird durch die langfristigen Maßnahmen angestrebt. Die Arbeiten der Wiederherstellung gehen in die Phase der Vorbeugung über.

Die Aktivität in den Phasen des Modells ist während der Bewältigung am intensivsten [Mur07]. An die verantwortlichen Entscheider stellt sie Anforderungen, die keine

---

<sup>4</sup>In manchen Quellen wie [DHS16] ist die Vorbeugung kein als eigenständiger Teil dieses Zyklus.

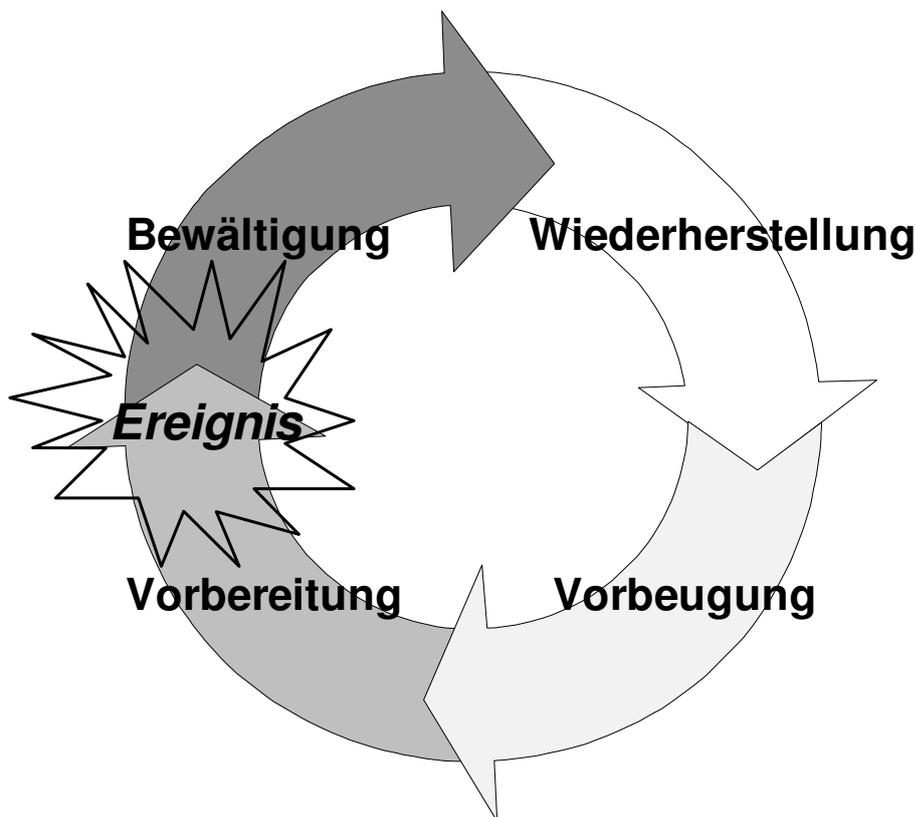


Abbildung 2.3.: Katastrophenmanagement-Zyklus

organisatorische Struktur vollständig kompensieren kann. Die Gründe dafür sind vielfältig (siehe [KK91, ON05]) und geben eine Idee davon, wo eine Unterstützung zu Verbesserungen beitragen kann.

Während der Katastrophenbewältigung sind Ziele und Aufgaben oft *ungenau definiert* oder widersprechen sich sogar teilweise. Ähnlich verhält es sich mit den verfügbaren Informationen, die meist *unsicher* und *unvollständig* sind. Die Situation im Einsatzgebiet ist hoch *dynamisch* und liefert in Echtzeit Rückmeldungen bezüglich des Beitrags einer Handlung zum Erreichen eines gewählten Ziels. Die Entscheidungsfindung in Bezug auf eine Handlung erfolgt oft unter *Zeitdruck*. Nicht nur deshalb werden Handlungsalternativen meist nicht anhand analytischer Methoden, sondern auf Basis von *Wissen und Erfahrung* bewertet. Die bei der Katastrophenbewältigung involvierten Akteure stammen aus unterschiedlichen Organisationen, sind also *multidisziplinär*, arbeiten in ihrem normalen Arbeitsalltag selten zusammen und verfolgen zum Teil unterschiedliche Ziele. Dies und die komplexen hierarchischen Strukturen können den initialen Findungsprozess und die Organisation der Einsatzleitung erschweren. All dies erzeugt ein hohes Stressniveau bei den an der Bewältigung beteiligten Personen. Der Umgang mit einer komplexen, unvorhersehbaren und dynamischen Umwelt zwingt Entscheider, von ihren normalen Vorgehensweisen abzuweichen. Dazu kommen Faktoren wie Erschöpfung, Zeitdruck sowie die Kom-

munikation nach außen, wie z. B. zur Presse, und innerhalb der Einsatzleitung, z. B. bei Besprechungen (siehe [Mur02, PF99]).

### 2.3. Einordnung der Arbeit

Die vom DMT bereitgestellten Hilfestellungen lassen sich den Phasen des Katastrophenmanagement-Zyklus zuordnen, wobei sich dabei durchaus Überschneidungen ergeben. Auch wenn der Schwerpunkt bei der Bewältigung liegt, können Teile der Systemfunktionen auch in der Vorbeugung und der Vorbereitung genutzt werden.

In der Vorbeugung kann der Schadenssimulator für Erdbeben zur Bestimmung von Schadensszenarien eingesetzt werden. Abhängig von deren Ergebnissen ist die Planung baulicher Maßnahmen zur Verstärkung der strukturellen Integrität von Gebäuden möglich. Wie Zikas [ZG07] vorschlägt, ist damit eine Komponente für eine Kosten-Nutzen-Bewertung von Maßnahmen realisierbar. Im Rahmen der Einsatzvorbereitung kann das System zur Ausbildung, Übung und Einsatzmittelplanung genutzt werden. In der Ausbildung kann die Simulation der Katastrophenumwelt eingesetzt werden, um Erfahrungen im Umgang mit einer Katastrophensituation zu vermitteln. Die vom System bereitgestellten Hilfestellungen können dazu dienen, das ihnen zugrunde liegende Expertenwissen zu vermitteln. Selbst für erfahrene Entscheidungsträger stellt eine Katastrophe eine Ausnahmesituation dar, die geübt werden sollte. Statt Wissensvermittlung steht hierbei vor allem das Zusammenspiel zwischen den Mitgliedern der Einsatzleitung sowie den verschiedenen Hierarchiestufen im Vordergrund. Für die Einsatzmittelplanung im Rahmen der Vorbereitung ermöglicht die Simulation die Erprobung von Einsatzplänen und eine Einschätzung der notwendigen Ressourcen. Bei der Optimierung der Pläne können die Hilfestellungen des Systems unterstützen.

Trotz dieser Möglichkeiten ist der Forschungsgegenstand der Arbeit die Unterstützung bei der Bewältigung einer Katastrophe. Es gilt, in einer komplexen und dynamischen Situation unter Zeitdruck die richtigen Handlungen auszuwählen, um Leben zu retten, Folgeschäden durch ein Stabilisieren der Situation zu minimieren und die Infrastruktur sowie Besitztümer zu erhalten (vgl. [ZW84, BR01]). Als Mantra, für ein System welches Entscheidungsträger dabei unterstützt, passt ein Zitat aus von Iannella und Henricksen [IH07] “deliver the right information to the right people in the right format in the right place at the right time“, welches sicher nicht zufällig Parallelen zu der Seven-Rights-Definition der Logistik nach Plowman [Plo64] aufweist. Über die Bereitstellung von Informationen hinaus soll das vorgestellte System aktiv die Entscheidungsfindung unterstützen, indem seine Hilfestellungen Zeitdruck, Dynamik und Komplexität abmildern. Zielgruppe sind die direkt Verantwortlichen für die Ressourcenverteilung in der Einsatzleitung. In Deutschland z. B. entspricht dies dem S3 mit den Fachberatern.

# 3. Entscheidungstheorien und Entscheidungsprozesse

Das Verständnis für den Prozess der Entscheidungsfindung ist eine Voraussetzung, um diesen adäquat unterstützen zu können. Entsprechend wird im folgenden Kapitel untersucht, wie sich der Entscheidungsprozess in einer Einsatzleitstelle während einer Katastrophenbewältigung modellieren lässt. Aufbauend auf Befragungen und Beobachtungen sowie Fachliteratur wurde ein Prozessmodell für die Entscheidungsfindung auf der operativ-taktischen Führungsebene entwickelt. Dabei wurden Aspekte aus der Psychologie, der Betriebswirtschaft und der Mathematik berücksichtigt, die sich über die Jahre in unterschiedlichen Forschungsansätzen niedergeschlagen haben.. Im Weiteren werden verschiedene Theorien vorgestellt, um dann vertiefend auf zwei Modelle der Entscheidungsfindung einzugehen. Daraus wird ein Modell für Entscheidungsträger bei Katastrophen abgeleitet, auf dem die Entscheidungsunterstützung aufbaut.

## 3.1. Einführung

Aufgrund der unterschiedlichen Umstände, unter denen Entscheidungen getroffen werden, kommen auch verschiedene Modelle für den Entscheidungsprozess zur Anwendung. Faktoren, welche die Art beeinflussen, wie eine Entscheidung getroffen wird, sind der Entscheidungsträger, der Entscheidungsgegenstand, die Entscheidungskriterien sowie der Entscheidungskontext.<sup>1</sup>

Der *Entscheidungsträger* ist legitimiert, eine Entscheidung in einem vorgegebenen Rahmen zu treffen. Abhängig von der Situation können mehrere Entscheidungsträger eine gemeinsame Lösung erstellen oder verschiedene Personen für unterschiedliche Entscheidungen legitimiert sein. Im letzteren Fall entsteht erst durch die kollaborative bzw. kooperative Zusammenarbeit ein gesamtheitlicher Entscheid. Dabei sind Entscheidungsträger immer beeinflusst durch subjektive Faktoren, wie ihrem organisatorischen Hintergrund, ihren Präferenzen, Gefühlen, Wertvorstellungen sowie Erfahrungen. Entscheidungen ziehen erwartete, aber ggf. auch unerwartete *Entscheidungsfolgen* nach sich. Problematisch ist dabei die Frage, wie weitreichend die

---

<sup>1</sup>Ein tieferer Einstieg in die Begriffe und das Thema findet sich z. B. in Schiemenz [Sch13] sowie bei Glatzmeier und Hilgert [GH14].

Verantwortung des Entscheidungsträgers ist. Die Wirkungen der Entscheidungsfolgen können kurz-, mittel- oder langfristig sein. Sie haben aufgrund der durch sie stattfindenden Änderung der Situation meist Einfluss auf Folgeentscheidungen.

Entscheidungen werden bezüglich eines *Entscheidungsgegenstandes* getroffen. Dieser lässt sich differenzieren in einen Handlungs- und einen Zielentscheid sowie einen Beziehungs- und einen Gestaltungsentscheid. Die beiden Letzteren beziehen sich auf eine soziale Interaktion, also die Frage, ob, wie und unter welchen Rahmenbedingungen ein Kontakt aufgebaut werden soll. Im Rahmen der Arbeit sind die beiden Ersteren relevanter. Beim Handlungsentscheid wird zwischen zwei oder mehr Handlungsalternativen gewählt. Dies führt entweder zu neuerlichen Handlungsentscheidungen oder zu konkreten Handlungen. Beim Zielentscheid erfolgt dagegen die Festlegung auf ein oder mehrere Ziele, die dann für die weiteren Handlungsentscheidungen maßgeblich sind.

Das Ergebnis einer Entscheidung hängt von *Entscheidungskriterien* ab. Diese stellen Annahmen über die Umwelt dar, die ausschlaggebend für die Entscheidungsfindung sind. Ein Beispiel ist der rationale Entscheider (auch als Nutzenmaximierer oder Homo oeconomicus bezeichnet) aus der Wirtschaftstheorie (siehe [HU07]).

Die Verhältnisse in der Umwelt ergeben den *Entscheidungskontext*. Er beruht unter anderem auf den verfügbaren Wahlalternativen des Entscheiders, seiner Informiertheit, seinen Präferenzen und seinem Stresslevel. Der Kontext hat entscheidenden Einfluss auf die Qualität der Entscheidung. Je kleiner die Unsicherheit ist, umso leichter ist es, gute Entscheidungen zu treffen. Dies ist gleichbedeutend mit der Qualität und Quantität der verfügbaren Informationen. Umgekehrt sind Entscheidungen oft umstritten, wenn verbleibende Unsicherheiten von verschiedenen Personen mit unterschiedlichen Annahmen belegt werden können. Abhängig von den genannten Faktoren finden unterschiedliche Entscheidungsprozesse Anwendung.

## 3.2. Eigenschaften der Entscheidungsfindung bei Katastrophen

Zur Ermittlung der Hauptmerkmale von Entscheidungsprozessen im Katastrophenschutz dienen neben Literaturquellen vor allem die Ergebnisse aus Befragungen von Experten aus Zivilschutzorganisationen sowie die Beobachtungen von Übungen in Einsatzleitungen. *Strukturelle Komplexität* und *dynamische Unsicherheit* erwiesen sich als die prägenden Herausforderungen für die Entscheidungsträger. Strukturelle Komplexität ergibt sich aus den beteiligten Elemente und Handlungen, während die dynamische Unsicherheit ihren Ursprung in spontanen, nicht vorhersehbaren Einflussgrößen hat.

Strukturelle Komplexität weist drei Dimensionen auf:

1. Die Komplexität aufgrund der *beteiligten Elemente* resultiert aus der Anzahl von Personen, Organisationen oder Systemen, die bei der Bearbeitung des

Prozesses involviert sind. Im konkreten Kontext der Katastrophenbewältigung umfasst dies u. a. die Ressourcen, über die ein Entscheidungsträger verfügen kann, sowie die Hilfsorganisationen, mit denen er zusammenarbeitet.

2. Aus der Beteiligung anderer Elemente an der Bearbeitung einer Aufgabe ergibt sich eine Komplexität aufgrund von *Interaktionen*. Im Zivilschutz spiegelt sich dies vor allem in der Interaktion mit anderen Organisationen und Hierarchieebenen wider. Neben der Interaktion selbst kann dabei auch ein unterschiedliches Vokabular ein Problem darstellen.
3. *Prozessbedingte* Einschränkungen, die eine Reihenfolge oder Zeitrestriktion bei Prozessschritten vorgeben, stellen die dritte Dimension struktureller Komplexität dar. Gerade die Zeit ist in der Katastrophenbewältigung ein zentrales Problem, da Maßnahmen, wie die Bekämpfung eines Feuers oder die Suche nach Versütteten, in einem engen Zeitfenster abgeschlossen werden müssen, um Erfolg versprechend zu sein.

Die dynamische Unsicherheit einer Aufgabe lässt sich ebenfalls in drei Dimensionen gliedern:

1. Je weniger Erfahrung ein Bearbeiter mit einer Aufgabe hat, desto eher ist er mit unerwarteten und bisher unbekanntem Ereignissen konfrontiert. Die vorhandene Erfahrung hängt davon ab, ob eine Routine mit wenigen Abweichungen in der Bearbeitung des Prozesses vorhanden ist oder ob häufig auftretende außergewöhnliche Umstände Flexibilität bei der Bearbeitung verlangen. Dabei verfügen nur wenige Entscheidungsträger im Zivilschutz über reale Erfahrung im Management einer Katastrophenlage. Hinzu kommt, dass die Dynamik der Situation immer wieder zu unbekanntem, unerwarteten Problemen und Ereignissen führt.
2. Lässt sich eine Aufgabe schwer analysieren, so kann es daran liegen, dass sie zu einem gewissen Maße unstrukturiert ist und/oder sich die benötigten Informationen nicht eindeutig interpretieren lassen. Gerade die eindeutige Interpretation von Informationen ist in der dynamischen Situation einer Katastrophe oft ein Problem.
3. Die Signifikanz einer Aufgabe wird durch ihre Dringlichkeit sowie die möglichen Auswirkungen bestimmt. Die Dringlichkeit ist gegeben durch die Priorität und das Zeitfenster, in dem die Aufgabe erledigt sein soll. Die Auswirkungen ergeben sich aus der Analyse und Bewertung der Ergebnisse, die mit der Lösung der Aufgabe erreicht werden. In der dynamischen und unübersichtlichen Situation einer Katastrophe stellt die Bewertung der Signifikanz einer Maßnahme aufgrund der Vielzahl zu berücksichtigender Fakten und der kognitiven Limitationen eines menschlichen Entscheidungsträgers ein Problem dar.

### 3.3. Entscheidungsprozesse

In der Theorie werden zwei Arten der Entscheidungsfindung unterschieden, die rationale und die intuitive. Bei einer rationalen Entscheidungsfindung spricht man auch von einem analytischen Vorgehen. Abhängig von der Situation und dem Entscheider sind beides mögliche Vorgehensweisen.

Die Idee eines rein rational handelnden Entscheidungsträgers hat eine lange Historie. Sie geht zurück auf Arbeiten in der Wirtschaftsforschung und in der Mathematik, etwa der Spieltheorie. Entscheidungen werden auf Basis vollständiger Information zum maximalen Nutzen des jeweiligen Entscheiders getroffen. Die Psychologie hat darauf aufbauende *analytische Modelle* der Entscheidungsprozesse entwickelt. In diesen wird das Entscheidungsproblem in einzelne Elemente zerlegt, bei denen die möglichen Optionen, die Unsicherheiten und das Ergebnis bekannt sind. Die Bewertung aller Handlungsoptionen erfolgt in einer einheitlichen Skala, anhand derer die beste Option gewählt wird. Beispiele für analytische Modelle sind die *Subjectively Expected Utility-Theory (SEU)*, die *Multiple-Criteria Decision Analysis (MCDA)* oder der *Analytic Hierarchy Process (AHP)* (siehe [Hos05]). Die Annahmen der Modelle sind strikt und schwer an die reale Situation in einem Entscheidungskontext adaptierbar. Dort liegen fast nie vollständige Informationen vor, oft ist die Auswahl an Optionen unübersichtlich und nicht immer handelt jeder Entscheidungsträger im Hinblick auf reine Nutzenoptimierung. Aufgrund dieser Erkenntnisse und gemäß dem Konzept der begrenzten Rationalität (vgl. Bounded Rationality in [Sim55]) wurden *deskriptive Modelle* [Dil98] entwickelt. Diese berücksichtigen, dass der Entscheidungsträger kognitiven Restriktionen ausgesetzt ist und daher statt exakter Verfahren Heuristiken verwendet. Die Maximierung des Nutzens wird zu einem Entscheidungskriterium unter weiteren und muss nur zu einem gewissen Grad erfüllt sein. Als weiteres Kriterium dienen z. B. die Kosten für die Entscheidungsfindung. Erreicht der Entscheidungsträger mit vertretbarem Aufwand eine befriedigende Lösung, so wird diese statt der optimalen Möglichkeit gewählt. Es erfolgt somit eine multikriterielle Optimierung. Typische Vertreter der deskriptiven Modelle sind das Satisficing Model und das Conjunctive/Disjunctive Model.

Sowohl analytische als auch deskriptive Modelle betrachten den Weg zur Entscheidung. In den 1980er-Jahren wechselte der Fokus der Forschung weg von kontrollierten Versuchsaufbauten in Laboren, hin zu Untersuchungen realer Entscheidungssituationen. Die dabei entwickelten Modelle blicken auf die Aktivität der Entscheidungsfindung, nicht auf den Weg dorthin. Sie werden als *naturalistische/intuitive Entscheidungsprozesse* bezeichnet. Eine der ersten Veröffentlichungen zu dem Thema stammt von Gary Klein [Kle89]. Für ihre Entwicklung wurden vor allem Command & Control-Vorgänge bei Krisensituation untersucht, wie z. B. im *TADMUS (Tactical Decision Making Under Stress)* Projekt der US-Army. Es zeigte sich, dass sich die Erkenntnisse aus Versuchen mit unerfahrenen Entscheidungsträgern in einem Labor nicht decken mit Beobachtungen bei erfahrenen Feuerwehrmännern, Polizisten oder Rettungskräften in der Praxis. Die Hauptidee war, dass erfahrene

Entscheidungsträger keinen analytischen Prozess nutzen, sondern intuitiv aufgrund ihrer Erfahrung entscheiden. Diese beruht auf *implizitem Wissen (Tacit Knowledge)*, welches nicht bewusst durch eine Person abgerufen werden kann [Reb89]. Abhängig vom Entscheidungskontext scheinen sich bestimmte Situationen besser durch intuitive Entscheidungen bewältigen zu lassen. Cannon-Bowers und Salas [CBS98] listen dazu typische Stressoren auf, bei denen ein naturalistischer Entscheidungsprozess anscheinend zu bevorzugen ist: (1) viele unterschiedliche Informationsquellen, (2) unvollständige und widersprüchliche Informationen, (3) ein sich schnell änderndes und entwickelndes Szenario, (4) die Koordination vieler Ressourcen, (5) widrige und bedrohliche Situationen, (6) Leistungs- und Zeitdruck, (7) hohe Arbeits- und Informationsverarbeitungslast. Im Gegensatz zu den rationalen Modellen spielt bei den naturalistischen Modellen die Komplexität einer Situation eine wichtige Rolle. Sie wird als gegeben in die Modelle integriert, anstatt zu versuchen, eine Vereinfachung herbeizuführen, die ein analytisches Schema ermöglicht. Auch zwingen sie Menschen nicht die Rolle einer fast schon maschinell analytisch handelnden Entität auf. Typische Vertreter der Theorie sind das Recognition-Primed Decision Model, die Critical Decision Method, die Explanation Based Theory sowie die Image Theory (siehe [Bea92, Kle89, KCM89, KK91]).

Die Frage, welche der Vorgehensweisen wann und bei wem besser geeignet ist, lässt sich nicht eindeutig beantworten. Polič und Sjöberg geben eine detaillierte Zusammenfassung der Historie beider Richtungen und diskutieren deren Vor- und Nachteile (vgl. [Pol09, Sjö03]). Hierbei zeigt sich, dass in einigen Bereichen das analytische Vorgehen besser geeignet ist; in diesen Fällen bringt auch Expertenwissen weniger Vorteile. Bei anderen ist ein naturalistischer Ansatz Erfolg versprechender. Vor allem Praktiker mit Expertenwissen favorisieren diese.

Intuitive Entscheidungen laufen schnell, assoziativ, automatisiert und ohne größeren kognitiven Aufwand beim Entscheidungsträger ab. Die Auswertung der verfügbaren Daten ist stark parallelisiert. Falls der Entscheidungsträger Erfahrungen mit Situationen hat, die der aktuell zu beurteilenden entsprechen, trifft er sehr gute Entscheidungen. Allerdings ist der Entscheidungsvorgang selbst schwer zu begreifen oder nicht einfach zu verändern. Analytisches Vorgehen ist ein bewusster Vorgang, der viel Aufmerksamkeit und geistige Kapazität erfordert. Er ist langsam, kaum parallelisierbar und basiert auf beschreibbaren Regeln. Daher ist er begreif- und kontrollierbar und kann flexibel angepasst werden.

Ganz gleich welches Modell besser zu einer Entscheidungssituation passt: Das vom Menschen genutzte Vorgehen ist immer eine Mischform beider Typen [Bet08, Kah02]. Abhängig von den Gegebenheiten tendiert es allerdings mehr in die eine oder andere Richtung. Da die Stressoren für die Einsatzleitung im Katastrophenfall den von Cannon-Bowers und Salas genannten entsprechen (siehe [CBS98]), orientiert sich die vorliegende Arbeit schwerpunktmäßig an der naturalistischen Idee. Um der Domäne des *Command & Control* Rechnung zu tragen und den analytischen Ansatz zu integrieren, wird mit *OODA (Observe-Orient-Decide-Act)* außerdem ein etabliertes rationales Modell berücksichtigt.

### 3.3.1. RPD

Das naturalistische *Recognition-Primed Decision Model (RPD)* beschreibt ein Vorgehen der schnellen und effektiven Entscheidungsfindung im komplexen Entscheidungskontext. Es wird nicht unbedingt die beste Lösung gewählt, sondern die erste, die den Ansprüchen des Entscheidungsträgers genügt. Ziel ist dabei nicht ein globales Optimum, sondern ein kontinuierlicher Fluss von Entscheidungen hin zu einem einheitlichen Ziel, wobei sich der Weg zum Ziel mit jeder Iteration präzisiert.<sup>2</sup> Voraussetzung für eine gute Lösung ist ein reicher Erfahrungsschatz des Entscheidungsträgers im Hinblick auf den Entscheidungsgegenstand. Das Modell, welches in Abbildung 3.1 dargestellt ist, geht zurück auf die Arbeiten von Klein [Kle89, Kle98, KCCC86].

Ausgangspunkt für jede Entscheidung sind die Erfahrungen (implizites Wissen) des Entscheidungsträgers bezüglich des Entscheidungsgegenstandes (*Experience the Situation in an changing Kontext*) und Entscheidungskontexts. Der Kontext liefert Hinweise bzw. Hinweisreize (*Cues*), die dazu führen, dass sich der Entscheidungsträger aufgrund seines Wissens an vergleichbare Situationen erinnert. Eine Situation kann dabei auch prototypisch und damit eine Verschmelzung mehrerer ähnlicher Situationen in der Erinnerung sein. Für das Wiedererkennen wird von Klein kein Prozess vorgeschlagen. Hier kommen, abhängig von der Person und dem Entscheidungsgegenstand, unterschiedliche Verfahren wie z. B. Mustererkennung (*Pattern-Matching*) zum Einsatz.

Das initiale Erkennen der Situation (*Recognition*-Schritt in Abbildung 3.1) durch den Abgleich der vorliegenden Situation mit den Erfahrungen des Entscheidungsträgers bildet die Grundlage für gute Entscheidungen. Je nach Entscheidungskontext und Erfahrung ergeben sich drei mögliche Verläufe:

1. Der Entscheidungsträger erkennt anhand seines Wissens zum Entscheidungsgegenstand aus dem Entscheidungskontext die vorliegende Situation und hat Kenntnis über eine für ihn befriedigende Handlungsoption (Schritt *Typical Situation* positiv).
2. Der Entscheidungsträger hat Wissen bezüglich des Entscheidungsgegenstandes und möglicher Handlungsoptionen, kann allerdings anhand des vorliegenden Entscheidungskontextes keine ihm bekannte Situation identifizieren.
3. Der Entscheidungsträger kennt den Entscheidungsgegenstand und kann aus seinem Wissen die aktuelle Situation im Entscheidungskontext als bekannt identifizieren. Da allerdings die Entwicklung nicht seinen Erwartungen entspricht, ergeben sich keine assoziierten Handlungsoptionen.

Im ersten Fall übernimmt der Entscheidungsträger die Handlungen der ihm bekannten Lösung. Im zweiten und dritten Fall erfolgt eine erneute Einschätzung der Situa-

---

<sup>2</sup>Insofern weist das Vorgehen Parallelen zum kontinuierlichen Verbesserungsprozess aus dem Lean Management auf. Nur durch Handlung entwickeln sich Erfahrungen zu einer Situation, die sich wiederum in Verbesserungen niederschlagen und zu neuen Erfahrungen führen.

tion. Dazu bedienen sich die meisten Entscheidungsträger zweier Vorgehensweisen. Bei der Ersten entwickeln sie auf Basis der verfügbaren Hinweise und der eigenen Erfahrungen mehrere Hypothesen zur aktuellen Situation, welche die Hinweisreize entsprechend erweitern. Aus diesen sucht der jeweilige Entscheidungsträger anhand weniger, von ihm als relevant eingestufte Eigenschaften, die passendste Hypothese aus.<sup>3</sup> Diese dient dazu, eine passende Situation aus den Erfahrungen zu identifizieren, um daraus eine bekannte Lösung abzuleiten. Bei der zweiten Option erstellt der Entscheidungsträger aufgrund seiner Erfahrungen eine mentale Simulation, aus der er die Entwicklung der aktuellen Situation herleitet, um daraus weitere Hinweise für ihre Identifikation mit bekannten Lösungsansätzen zu erhalten. Eine mentale Simulation kann auch der nach vorne gerichteten Prüfung dienen, um zu bestimmen, wie sich bekannte Handlungsoptionen in der aktuellen Situation bewähren, um die Erfolg versprechendsten auszuwählen.

Wurde eine bekannte Situation erkannt, so liegen dem Entscheidungsträger vier Elemente vor. Die Ziele (*Plausible Goals*), die er in dieser Situation erreichen sollte, die Hinweise (*Relevant Cues*), die zum Wiedererkennen geführt haben, die Handlungsoptionen (*Actions*), die sich aus der Erfahrung für die Situation ergeben, sowie weitere Hinweise und zukünftige Entwicklungen (*Expectancies*), die bei dieser Situation zu erwarten sind. Um eine endgültige Entscheidung in Bezug auf die Handlung zu treffen, führt der Entscheidungsträger eine mentale Simulation der Entwicklung für die verschiedenen Handlungsoptionen durch und prüft, welche Erfolgsaussichten diese haben. Ist das Ergebnis negativ, wird diese Option verworfen und eine weitere geprüft, es sein denn, diese Bewertung ergibt sich nur aufgrund eines kleinen Details. Ist die Option aber ansonsten vielversprechend, kann der Entscheidungsträger versuchen, sie abzuändern und zu verbessern, um sie danach nochmals zu beurteilen. Gewählt wird die erste Handlungsoption mit einer positiven Bewertung.

Beim Wiedererkennen der Situation (*Recognition*) ist das Situationsbewusstsein (*Situation Awareness*) eines Entscheidungsträgers von entscheidender Bedeutung. Dieses beschreibt Endsley [End88] als „die Wahrnehmung von Elementen eines Ortes in der Umwelt in einem Zeitraum, das Verständnis ihrer Bedeutung und die Projektion über ihre mögliche Entwicklung in der Zukunft“. Es ist nicht nötig, dass ein vollumfängliches Bild vorliegt, aber die für eine Entscheidung relevanten situativen Informationen müssen richtig verstanden und interpretiert werden. Nach Endsley und Garland [EG00] sind dies drei aufeinander aufbauenden Stufen: (1) Der Wahrnehmung der Elemente, (2) ihrem Verständnis und (3) die Projektion ihrer Entwicklung in der Zukunft. Dabei ist die Fehlerquote in der ersten Stufe am höchsten, wohingegen der Anspruch an das Wissen des Entscheidungsträgers mit den weiteren Stufen zunimmt. Situationsbewusstsein ist dabei nicht statisch, sondern verändert sich kontinuierlich. Mit jeder neuen Information sind die vorhandenen Erkenntnisse erneut zu bewerten (vgl. [Ell05]).

Im RDP werden die Erwartungen hinsichtlich der Entwicklung einer Situation kon-

---

<sup>3</sup>Diese Vorgehen wird auch als Feature-Matching bezeichnet.

tinuierlich geprüft. Weicht die Entwicklung von den Erwartungen ab, gilt dies als Anomalie. Ist das Ergebnis, dass die Abweichung die Situationsbeurteilung nicht beeinflusst, führt dies zu keinen Handlungen. Lediglich die Erfahrung der abweichenden Ausprägung der Situation fließt in die Erfahrungen und damit das Wissen des Entscheidungsträgers ein. Führt die Abweichung zu einer anderen Wiedererkennung der Situation, ist eine Neubewertung erforderlich. Da die Entscheidung unter falschen Annahmen durchgeführt wurde, entsprechen die gewählten Handlungen ggf. nicht den Gegebenheiten. Sind diese bereits umgesetzt, wird ein erfahrener Entscheider sie nicht einfach zurücknehmen, sondern dies in seiner langfristigen Planung berücksichtigen. Da von einer hoch dynamischen Lage ausgegangen wird, ist es nie sicher, ob ein zuverlässiges Bild der Situation vorliegt. Es gilt, ein kontinuierliches Ziel zu verfolgen, anstatt zu versuchen, immer wieder Details zu korrigieren.

### 3.3.2. OODA

Der Ursprung des OODA-Modells (Abbildung 3.2) liegt im vom Command & Control-Konzept geprägten militärischen Bereich. Es basiert auf den Erfahrungen John R. Boyds aus seiner Zeit als Jetpilot und Führungsoffizier [Boy96]. Auch Boyd legt Wert auf eine schnelle Entscheidungsfindung, da er diese als einen Erfolgsfaktor bei militärischen Konflikten sieht. Allerdings geht er von einer analytischen Entscheidungsfindung aus. Wie das RPD ist der Prozess iterativ angelegt, weshalb er auch als OODA-Loop bezeichnet wird. Unterschieden werden vier Phasen.

Die Beobachtung (*Observation*) beinhaltet die direkte Wahrnehmung der Umwelt, die Verarbeitung der Meldungen über sie und die Interaktion mit ihr. Dabei wirkt die Problemstellung des Entscheidungsträgers als impliziter Filter dieser Wahrnehmung. Durch die Rückkopplung der Erkenntnisse aus den nachfolgenden Phasen der Orientierung, Entscheidung und Handlung kann sich die Wahrnehmung verändern. Sie dient als Input für die Phase der *Orientierung*, welche beeinflusst ist von kulturellen Traditionen, dem genetisch Vererbten, gemachten Erfahrungen, neuen Informationen sowie der Analyse und Verknüpfung all dieser Quellen. Dadurch werden implizite Querverweise aufgestellt, Projektionen möglicher Situationen erstellt und Korrelationen gesucht sowie ggf. getroffene Annahmen verworfen. Die impliziten Eigenschaften spielen bei der Orientierung eine wichtige Rolle. Diese Phase ist laut Boyd das zentrale Element des Modells („Orientation is the Schwerpunkt“ [Boy87]), da sie Beobachtungen, Entscheidungen und Handlungen direkt beeinflusst. Sie dient als Eingangsparameter für die Entscheidungsphase (*Decide*), in der zwischen den vorhandenen Hypothesen über die Umwelt und den dazu bekannten möglichen Maßnahmen abgewogen wird. Dazu kommt ein von Boyd nicht genauer erläutertes analytisches Entscheidungsmodell zum Einsatz. Die gewählten Maßnahmen sind Eingangsparameter für die Handlung (*Action*), die wiederum die Beobachtung beeinflusst. Mit der Handlung prüft der Entscheidungsträger die von ihm gewählten Hypothesen und Maßnahmen, indem er sie in Interaktion mit der Umwelt umsetzt. Die Umsetzung der Maßnahmen ist zugleich ein Test der Wahrnehmung der Umwelt

und der darauf basierenden Entscheidungen. Auch dieser Schritt liefert Erkenntnisse, die in eine neue Beobachtung einfließen. Sie stellt den Abschluss einer Iteration im OODA-Modell dar. Die nächste Iteration beginnt entweder wieder mit der Beobachtungsphase oder der Prozess wird beendet, falls die Problemstellung gelöst ist, für die er initiiert wurde.

Welche Erkenntnisse sich aus OODA für das Handeln bei militärischen Entscheidungen ergeben, wird in der Literatur unterschiedlich bewertet. Als Essenz des Modells wird oft gesehen, schnellere und bessere Entscheidungen zu treffen als ein Gegner. Diese Sicht betrachtet aber nur den Entscheidungsträger. Wird der Gegner in die Überlegung mit einbezogen, kommen Autoren zur Erkenntnis, dass die Störung eines Gegners bei der Abarbeitung seiner OODA-Loops, vor allem innerhalb der Orientierungsphase, mindestens ebenso wichtig ist.

Die Bezeichnung als Zyklus (Loop) greift insofern zu kurz, als die Vorstellung von OODA als linear zu durchlaufender Kreis die Bedeutung des Modells nicht in seiner Gänze berücksichtigt. Durch die Rückmeldung aus den verschiedenen Phasen des Prozesses erfolgt eine kontinuierliche Verfeinerung und Erweiterung der Beobachtung der Umwelt. Oft wird die Theorie vertreten, dass eine hohe Anzahl und schnelle Abfolge von Iterationen den Erfolg bringt. Wie Osinga und Richards [Osi05, Ric01] bemerken, wird das nicht von dem Modell gestützt, zeigt es doch viele interne Feedbackschleifen. Vielmehr ist davon auszugehen, dass sich die einzelnen Phasen immer wieder gegenseitig beeinflussen; so können, während eine Entscheidung getroffen wird, neue Beobachtungen integriert werden, ohne die Schleife mit dem „alten“ Beobachtungsstand vollständig durchlaufen zu müssen. Genauso kann die Entwicklung von Hypothesen die Wahrnehmung beeinflussen und verändern.

Auch wenn OODA mit den Erfahrungen aus dem Bereich der militärischen Auseinandersetzungen entwickelt wurde, kann das Modell doch für die zivile Entscheidungsfindung im Rahmen von Command & Control wichtige Hinweise liefern. Wie bereits in Kapitel 2 festgestellt, sind die Befehlsstrukturen in Zivilschutz und Militär sehr ähnlich. Auch der Entscheidungskontext ähnelt sich hinsichtlich der Komplexität. Die Informationslage ist in beiden Fällen oft unzureichend und unsicher. Entscheidungen werden oft unter Zeitdruck gefällt und haben, durch ihre Folgen für Menschenleben, eine große Tragweite.

## 3.4. Entscheidungsprozesse bei Katastrophen

Basierend auf den vorgestellten Theorien wurde ein Prozessmodell entwickelt, welches als Basis für die Integration der Entscheidungsunterstützung in die Benutzungsoberfläche dient.

### 3.4.1. Planen und Entscheiden im Katastrophenmanagement

Die Situation der Katastrophenbewältigung beinhaltet eine große Anzahl an Stressoren [CBS98]. Diese treten allerdings weder dauerhaft noch unbedingt gleichzeitig auf. Leistungs- und Zeitdruck sind nicht immer gleich stark ausgeprägt und auch der Umfang sowie die Qualität der verfügbaren Informationsquellen schwanken. Situationsabhängig setzt der Entscheidungsträger unterschiedliche Strategien zur Entscheidungsfindung ein. Paton und Flin [PF99] nennen drei Arten von Strategien, die während der Katastrophenbewältigung zum Einsatz kommen und mit steigendem Aufwand verbunden sind:

1. Ein individuelles Wiedererkennen einer Situation und der möglichen Handlungsoptionen aufgrund von Erfahrung.
2. Das Erkennen einer Situation als eine, die aus den Erfahrungen bekannt ist, ohne sie sofort mit Handlungsoptionen assoziieren zu können. Um die Handlungen zu bestimmen, ist weiteres Nachdenken notwendig.
3. Die analytische Entscheidungsfindung, bei der aus verschiedenen Handlungsoptionen anhand eines Bewertungsschemas die beste ausgesucht wird. Sie ist die aufwendigste Strategie.

Die die ersten beiden Strategien sind bereits aus dem RPD bekannt. Sie beurteilen einzelne Optionen und werden gewählt, wenn eine schnelles Handeln erforderlich ist. Weitere Faktoren sind ein im Entscheidungskontext erfahrener Entscheider sowie dynamische Bedingungen und unklar definierte Ziele. Option drei repräsentiert ein typisches analytisches Vorgehen, durch das neue Handlungsoptionen entwickelt werden können. Diese Form der Entscheidungsfindung ist vor allem in der vorbereitenden Planung sowie bei Übungen relevant. Aber auch während einer Katastrophe findet sie Verwendung, falls der Entscheider in einer gegebenen Situation nicht auf Erfahrungen zurückgreifen kann oder er genügend Zeit hat, um neben den intuitiv bekannten Handlungen möglicherweise bessere Alternativen zu evaluieren. Die Ergebnisse analytischer Entscheidungen erlauben eine Rechtfertigung der Handlung und bieten ein optimiertes Ergebnis auch bei komplexen Entscheidungen.

Der analytische Planungsprozess ist durch die optimale Auswahl von Handlungsoptionen zum Erreichen gegebener Ziele geprägt. Er wird in der Literatur als opportunistisch beschrieben. Patalano und Seifert stellen fest, dass bei der Entwicklung eines Plans auch Nebenziele berücksichtigt werden, welche zu Handlungen führen, falls sich bei der Ausführung der Handlungen zum Erreichen des Hauptziels die Gelegenheit ergibt, sie umzusetzen [PS97]. Hayes-Roth und Hayes-Roth [HRHR79] identifizieren als Faktoren zur Priorisierung verschiedener Ziele ihre Wichtigkeit, ihre Dringlichkeit sowie ihre Nähe zueinander. Dabei werden diese Strategien gemischt eingesetzt, um z. B. bei Gelegenheit ein unwichtigeres Ziel zu bewältigen, das auf dem Weg zu einem wichtigeren liegt. Im Katastrophenmanagement äußert sich das opportunistische Handeln außerdem dadurch, dass versucht wird, Ziele in bereits vorhandene Pläne zu integrieren und zu Subplänen zusammenzufassen. Da aber

nicht auf die Integration in einen Gesamtplan geachtet wird, wird oft nur ein lokales Optimum erreicht [HR90]. Außerdem ist die Dynamik der Situation nicht zu vernachlässigen. Sie zwingt Entscheidungsträger, jederzeit darauf vorbereitet zu sein, Entscheidungen basierend auf neuen Meldungen aus dem Einsatzgebiet zu treffen bzw. neu zu bewerten und ggf. anzupassen [DQ76].

#### 3.4.2. Modell für die Entscheidungsunterstützung

Menschen wechseln bei ihrer Planung zwischen analytischem und intuitivem Vorgehen [Bet08, Kah02]. Bei Katastrophen sind oft zeitkritische Entscheidungen unter den bereits genannten Stressoren zu treffen. Bei erfahrenen Entscheidungsträgern weisen intuitive Modelle hier Vorteile auf. Ergeben sich Situationen, in denen die Stressoren weniger ausgeprägt sind, ermöglicht dies aber auch ein analytisches Vorgehen. Fehlen dem Entscheidungsträger die Erfahrungen, um in der aktuellen Lage fundierte intuitive Entscheidung zu treffen, ist ein analytisches Vorgehen sogar die einzige Option. Entsprechend sollte eine Entscheidungsunterstützung beide Vorgehensweisen berücksichtigen. Als Grundlage dafür sind Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen OODA und RPD zu identifizieren.

Gemeinsam ist beiden:

- Die Situation Awareness spielt eine zentrale Rolle bei der Entscheidungsfindung.
- Sie basieren auf Untersuchungen in Organisationen, die eine Command & Control-Struktur nutzen.
- In den betrachteten Situationen müssen schnell schwerwiegende Entscheidungen getroffen werden.
- Die Kollaboration mehrerer Personen bei der Entscheidungsfindung wird nicht berücksichtigt.

Die Hauptunterschiede sind:

- RPD stellt ein intuitives Entscheidungsmodell dar, während OODA von einem analytischen Vorgehen ausgeht.
- Das OODA-Modell sieht im Gegensatz zum RPD keine explizite Planungsphase und kein Lernen als Teile des Entscheidungsprozesses vor.

Die Aufzählung macht deutlich, dass sich OODA und RPD vor allem in den Schritten Planung und Entscheidung unterscheiden, aber im grundsätzlichen Ablauf und anderen Schritten durchaus Gemeinsamkeiten aufweisen. Da situationsabhängig beide eingesetzt werden, sind sie weniger konkurrierende als sich ergänzende Ideen. Entsprechend wurden beide Prozesse und der Führungsvorgang aus der DV100 (siehe Unterabschnitt 2.1.3) in einem Modell kombiniert, aus welchem für das DMT der Ablauf der Entscheidungsunterstützung und die bereitgestellten Entscheidungshilfen abgeleitet werden.

Das Modell soll den Entscheidungsprozess von Entscheidungsträgern der Einsatzleitung während einer Katastrophe abbilden. Zur besseren Übersicht erfolgt die Darstellung in zwei Diagrammen (siehe Abbildung 3.3 und Abbildung 3.4). Das Modell weist fünf Phasen auf, von denen vier aus OODA übernommen wurden. Ergänzt ist eine Planungsphase. In die Phasen *Observe*, *Orient*, *Plan*, *Decide* und *Act* werden die Prozessschritte eingruppiert. Einige Schritte sind im Diagramm mit Kommentaren zu möglichen Hilfestellungen versehen. Die Schritte in den Phasen *Orient*, *Plan* und *Decide* unterscheiden sich im analytischen und intuitiven Modell.

Die initiale Phase *Observe*, mit dem Schritt „Wahrnehmung der Umwelt/Beschaffung von Informationen“, ist bei beiden Vorgehensweisen gleich. Sie dient dem Aufbau des Entscheidungskontextes und kann durch eine Darstellung, Vorverarbeitung und Filterung der verfügbaren Informationen unterstützt werden. Primäre Informationsquelle sind Meldungen, die eine Einsatzleitung aus der Umwelt erhält. Falls Berechnungen möglicher Auswirkungen des vorliegenden Schadensereignisses verfügbar sind, können sie ergänzt werden durch Schadensszenarien. Auch die Phase *Act* ist in beiden Prozessen gleich. In ihr werden die gewählten Handlungen umgesetzt, wobei eine Automatisierung die Ausführung unterstützen kann. Mit der Umsetzung gehen meist Veränderungen in der Umwelt einher, die zu einer neuen Wahrnehmung führen. Solange die Wahrnehmung den Erwartungen entspricht, sind keine veränderten Handlungen nötig. Entwickelt sich dagegen die Lage anders als erwartet, liegt eine *Anomalie* vor. Diese muss zunächst erkannt, dann muss ihre Ursache geklärt werden. Unterstützen kann dabei eine Simulation, die frühzeitig aufzeigt, dass gewählte Handlungen nicht den erhofften Effekt erzielen. Veränderungen in der Beurteilung einer Situation sind ebenfalls Hinweise für Abweichungen. Eine Historisierung der Lagebeurteilungen kann bei ihrer Identifikation unterstützen.

In der Phase *Orient* des intuitiven Modells stehen das Wiedererkennen einer bekannten Situation und die Identifikation möglicher Handlungen im Zentrum (siehe dazu Unterabschnitt 3.3.1). Die ermittelten Handlungsoptionen kann ein unterstützendes System erweitern, indem es eigene Schlüsse aus dem Entscheidungskontext zieht. Für die ermittelten Handlungsoptionen werden in der Phase *Plan* mentale Projektionen möglicher Entwicklungen durchgeführt. Prognosen können diese mentale Simulation unterstützen. In der Phase *Decide* wird geprüft, ob die erwarteten Ergebnisse einer Handlung den vorliegenden Zielen genügen. Ist dies der Fall, werden sie umgesetzt, unabhängig davon, wie gut sie die Ziele erfüllen. Erscheinen Handlungen dem Entscheidungsträger vielversprechend, obwohl ihre Bewertung negativ ausfällt, kann er in die Planungsphase zurückkehren und versuchen sie so zu modifizieren, dass ihr Ergebnis die Ziele erfüllt. Bei den Verbesserungen sind Empfehlungen zur Vorgehensweisen hilfreich. Verwirft der Entscheider eine Handlungsoption aufgrund ihrer Bewertung, wählt er aus den verbliebenen eine neue aus. Ist keine Option mehr verfügbar und wurde keine befriedigende Handlung gefunden oder kommt der Entscheider zum Ergebnis, dass die Auswertung der Wahrnehmung unzureichend war, wird erneut mit der Phase *Observe* begonnen. In die Wahrnehmung fließen alle Erkenntnisse aus der abgebrochenen Iteration ein, um die Wiedererkennung einer

bekannten Situation zu verbessern. Bei der Bewertung der Handlungen ergänzen Hinweise auf die Probleme in der aktuellen Situation die Beurteilungen des Entscheidungsträgers.

Im analytischen Modell besteht die Phase *Orient* aus der Analyse der verfügbaren Wahrnehmungen. Aus den dabei ermittelten Hinweisen zur aktuellen Situation werden Ziele, Handlungsoptionen und Erwartungen abgeleitet. Die Bereitstellung von Schadensszenarien kann die initiale Analyse der Lage zu Beginn der Bewältigung verbessern, bei der oft noch nicht ausreichend Informationen über die reale Situation verfügbar sind. Ist die Menge an Informationen zu einem späteren Zeitpunkt dagegen zu umfangreich und schwer überschaubar, hilft eine Unterstützung, bei der Verarbeitung und Filterung den Blick auf die wesentlichen Fakten zu lenken. Die Analyse der aktuellen Situation kann außerdem durch eine Darstellung möglicher Handlungsoptionen und der damit erreichbaren Ziele unterstützt werden. In der Phase *Plan* werden identifizierte Ziele priorisiert und der Beitrag jeder Handlungsoption zu deren Erreichung bestimmt. Zueinander passende Handlungsoptionen werden zu Verläufen verknüpft. Je nach Situation kann dieser Aufbau komplexer Pläne unterschiedlich detailliert erfolgen. Eine Unterstützung dieser Phase bieten die Bewertung der Handlungsoptionen sowie die Prognose der Lageentwicklung, abhängig von einem gegebenen Handlungsverlauf. In der Phase *Decide* werden die zuvor identifizierten Handlungsverläufe bzw. Handlungsoptionen anhand ihres Beitrages zu den Zielen bewertet. Bei dieser Bewertung können Empfehlungen und Hinweise auf konkrete Probleme hilfreich sein. Wie diese zustande gekommen sind, muss allerdings für den Entscheider verständlich dokumentiert sein. Die Handlungsverläufe und Optionen mit der höchsten Bewertung werden zur Umsetzung in die Phase *Act* übernommen.

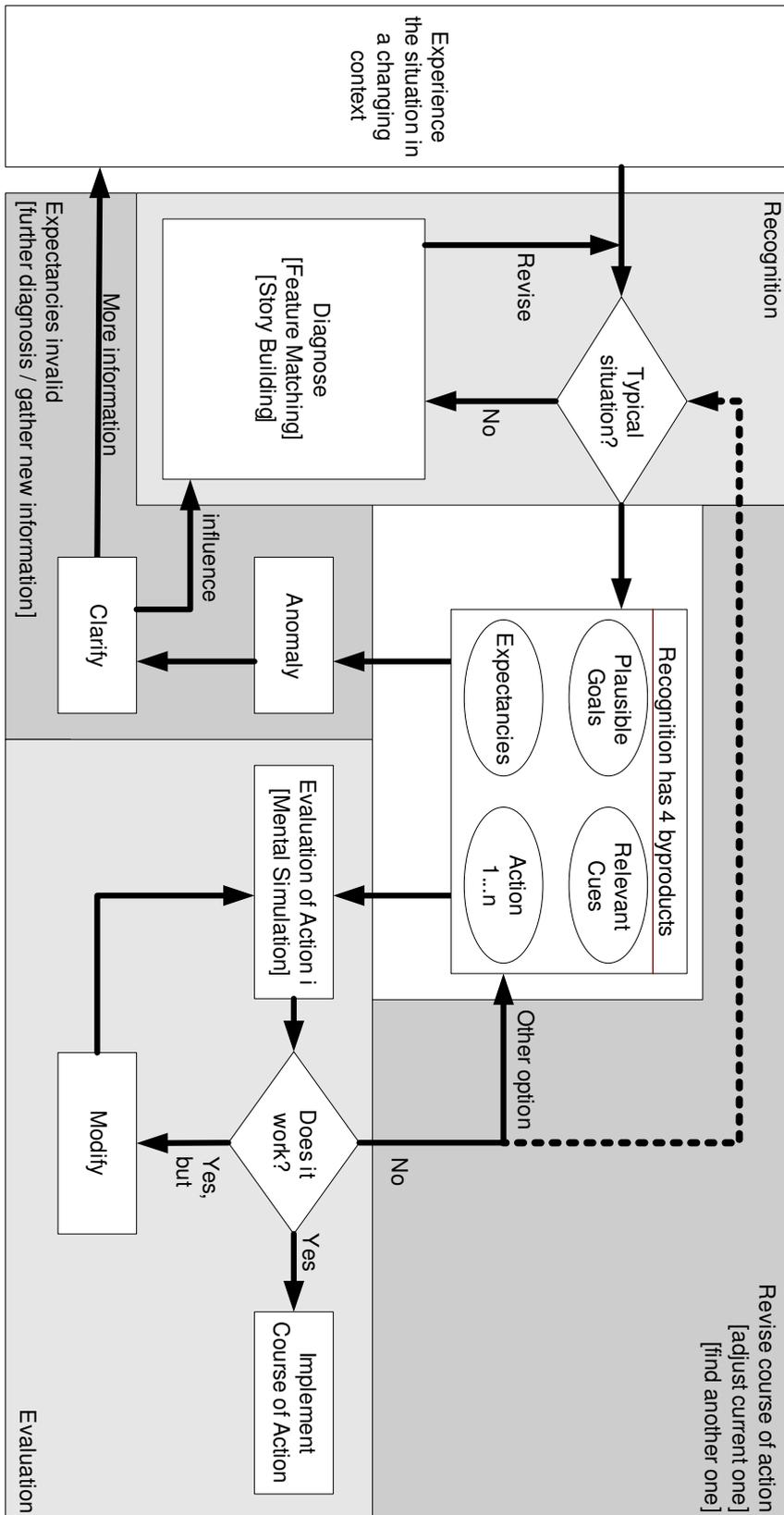


Abbildung 3.1.: RPD-Modell [Kle98]

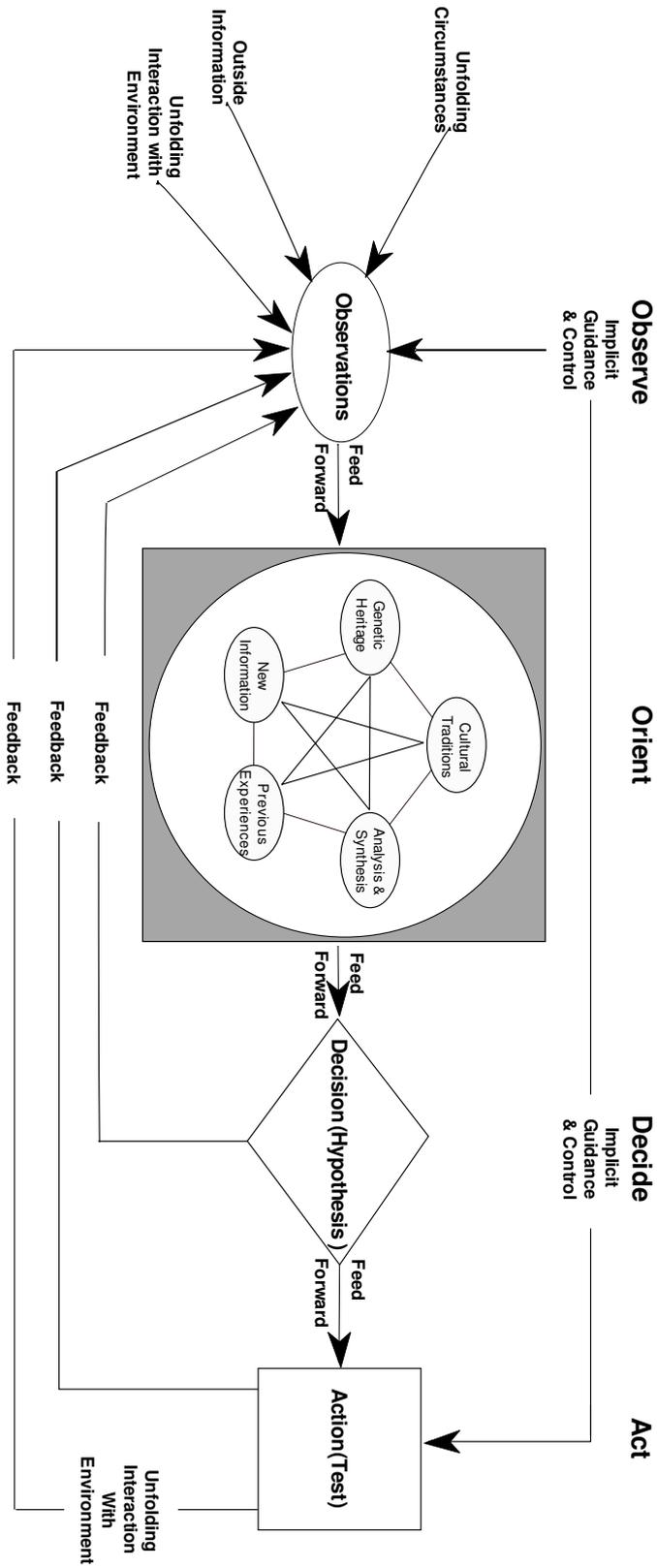


Abbildung 3.2.: OODA-Modell (siehe [Boy96])

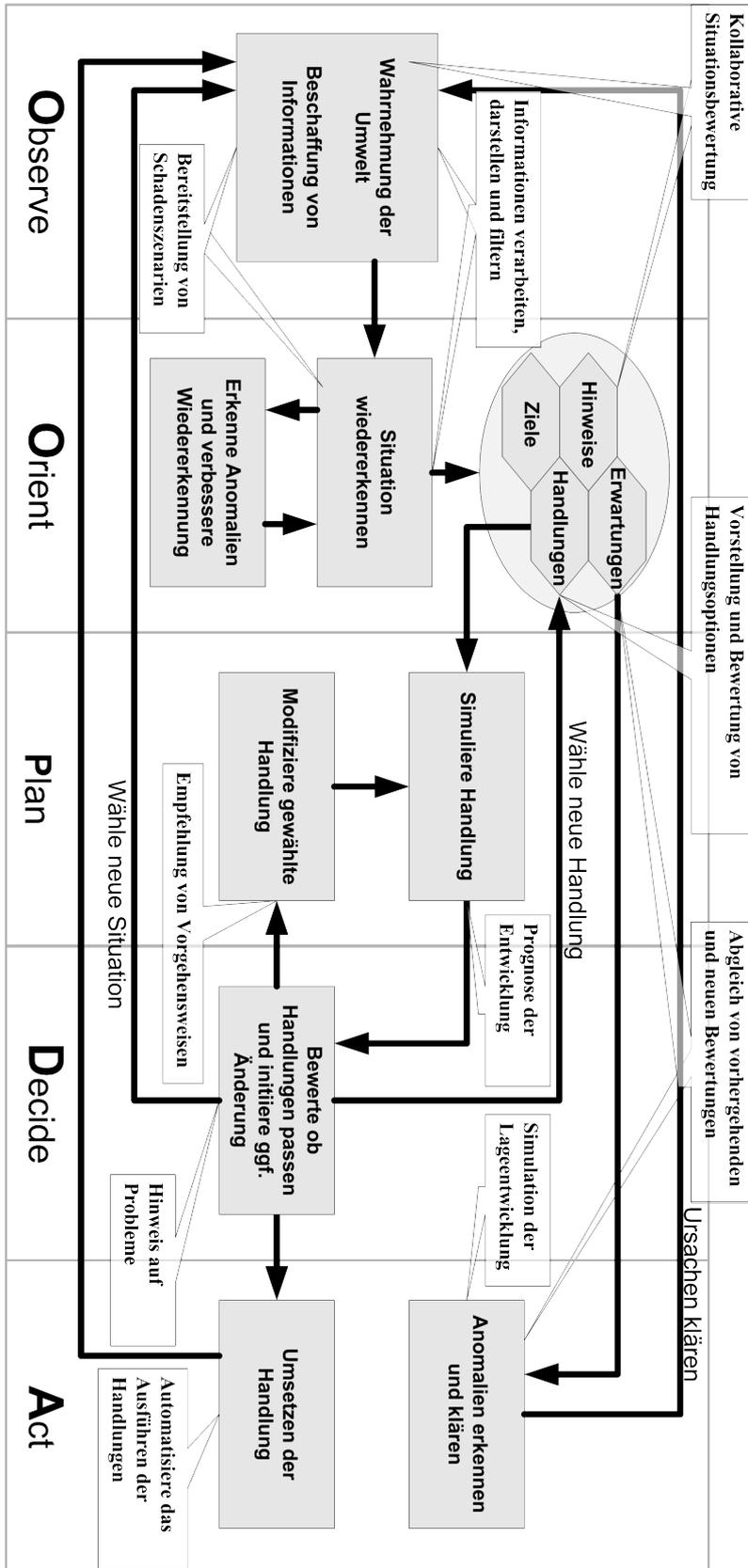


Abbildung 3.3.: Modell des Entscheidungsprozesses – Intuitiver Pfad

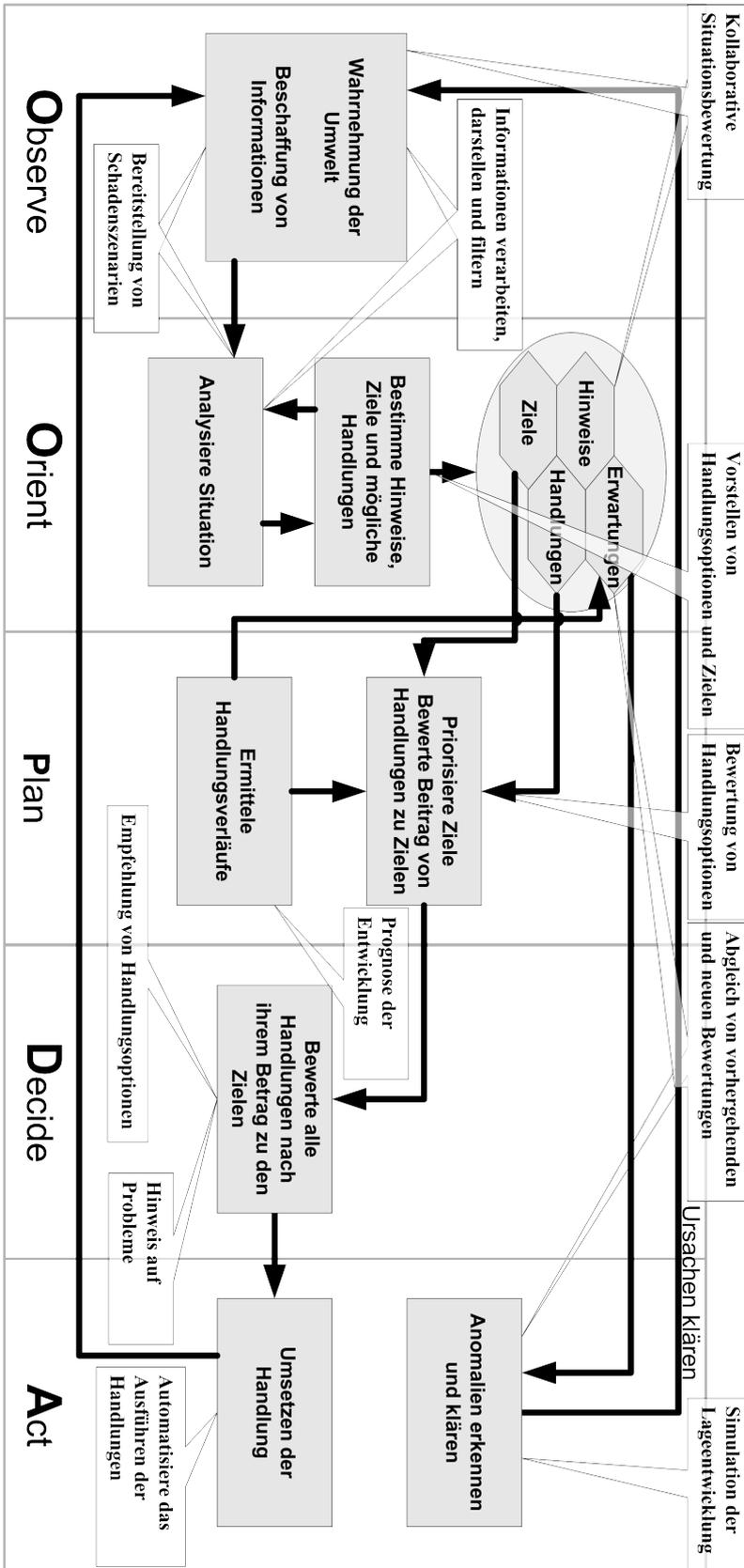


Abbildung 3.4.: Modell des Entscheidungsprozesses – Analytischer Pfad



## 4. Problemstellung und Lösungsansätze

Die kognitiven Beschränkungen menschlicher Entscheidungsträger insbesondere in dynamischen und komplexen Situationen bei der Bewältigung einer Katastrophe legen nahe, dass ein rational agierendes Computerprogramm die auftretenden Herausforderungen besser bewältigen könnte. Doch gerade die Dynamik widerspricht diesem Gedanken. Während der Mensch fähig ist, sich an eine unbekannte Situation anzupassen, kann ein Programm lediglich im Rahmen der ihm bekannten Parameter handeln. Selbstlernende Systeme ermöglichen zwar die Anpassung an neue Situationen, benötigen aber eine nicht unerhebliche Menge an Trainingsdaten. Da die Frequenz des Auftretens der betrachteten Schadensereignisse gering ist und sie sich in ihrer Ausprägung meist stark unterscheiden, sind Trainingsdaten nur unzureichend verfügbar. Noch schwerer wiegt, dass die handelnden Akteure im Einsatzgebiet Menschen sind. Eine natürlichsprachliche Kommunikation zwischen Mensch und Maschine ist, trotz aller Fortschritte in der Forschung auf diesem Gebiet, nur mit hohem Aufwand realisierbar und bleibt trotzdem zu unsicher, um als primäre Quelle für Entscheidungen dienen zu können. In Situationen, die über Menschenleben entscheiden, wird ein Vorgehen wenig Akzeptanz finden, bei dem Entscheidungen ohne menschlichen Einfluss und menschliche Kontrolle getroffen werden.

Menschliche Entscheidungsträger sind für die Bewältigung einer Katastrophe unabdingbar. Ein unterstützendes System wie das *Disaster Management Tool (DMT)* muss sich daher an ihren Fähigkeiten und Schwächen orientieren [BW98]. Die Orientierung an den kognitiven Beschränkungen des menschlichen Entscheidungsträgers ist somit eine zentrale Anforderung an ein Unterstützungssystem [MBW01]. Konkret sind bei den Anforderungen zum einen die geäußerten Wünsche der Anwender und zum anderen die Charakteristika ihrer Arbeitsprozesse zu berücksichtigen. Darauf aufbauend ergeben sich Nutzungsszenarien für den Einsatz eines Systems und damit Zielsetzungen und Anforderungen für seine Entwicklung.

### 4.1. Systeme der Domäne aus Theorie und Praxis

Die Praxis im Katastrophenschutz ist geprägt von verschiedensten Systemen, die Hilfestellung für Einsatzleitungen bzw. Krisenstäbe bieten sollen. In Deutschland ist die Systemlandschaft der eingesetzten Software in Einsatzleitstellen heterogen.

Für Krisenstäbe auf nationaler Ebene kommt beim *Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK)* sowie den *Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS)* das System *deNIS II plus* zum Einsatz, welches den Informationsaustausch in Krisenstäben strukturiert und koordiniert. Der gleiche Hersteller bietet *deNIS ÜSA* zur Vorbereitung und Durchführung von Übungen sowie *TecBOS* zur Unterstützung der Lageführung in einer Leitstelle an.<sup>1</sup> Je nach Bundesland oder gar Landkreis kommen in den Leitstellen andere Systeme zum Einsatz. Gemeinsam ist allen, dass der Austausch und die Verwaltung von Informationen im Vordergrund steht. Wie Otieno und Mitarbeiter [OGSC10] dokumentieren, ist die Situation in anderen Ländern ähnlich.

Ein Beispiel für ein System, das dem Anwender Hilfestellungen bietet und europaweit eingesetzt wird, ist *RODOS (Real-time On-line DecisiOn Support)* [KIT15]. Konzipiert ist es für radiologische Notfälle von lokalem bis internationalem Ausmaß. Dazu analysiert es ständig die Lage und prüft die Auswirkung möglicher Maßnahmen sowie deren Wirksamkeit. RODOS bietet dem Entscheidungsträger Unterstützung bei der Wahrnehmung der Situation und der Bewertung seiner Handlungsalternativen. Ein anderes Beispielsystem ist *RealOpt*, das die strategische und die operationale Planung der Verteilung von Wirk- oder Impfstoffen beim Ausbruch von Infektionskrankheiten oder radioaktiven Unfällen unterstützt. *RealOpt* ermittelt mithilfe von Simulationen anhand verschiedener Kriterien wie Kosten und Zeit das optimale Vorgehen bei der Verteilung [LOM10].

Es gibt umfangreiche Forschung zum Thema Entscheidungsunterstützung auf Basis von Agentensystemen. Boden [Bod94] sieht in der Agententechnologie die Möglichkeit eines Softwaredesigns, in dem autonome und rationale Systeme eine intelligente Entscheidungsunterstützung bereitstellen. Tadokoro et al. [TKT<sup>+</sup>00] haben den Einsatz von Agenten im Rahmen des Katastrophenschutzes bei Erdbeben untersucht. Jaber, Guarnieri und Wybo [JGW01] prüften diesen Ansatz für Wald- und Buschbrände und Molina und Blasco [MB03] für die Bewältigung von Hochwassern. Mehrere Arbeiten berücksichtigen dabei das RPD-Modell für Entscheidungsprozesse. Liang et al. [LRFA01] untersuchten den Einsatz von neuronalen Netzen, um das Feature-Matching im RPD nachzubilden. Andere Ansätze nutzen RPD, um in einem Agentensystem menschliches Verhalten zu simulieren [Sok03] oder als Grundlage für die Entwicklung von Hilfestellungen bei der Entscheidungsfindung in Gruppen [YFS<sup>+</sup>06]. Es wurden allerdings keine Systeme gefunden, die Entscheidungsträger in ihrem gesamten Entscheidungsprozess begleiten und dabei auch deren Interaktion mit menschlichen Einsatzkräften berücksichtigen.

---

<sup>1</sup>Weitere Informationen zu den drei Systemen finden sich unter [Pro].

### 4.2. Anforderungsanalyse

Um die Problemstellung zu präzisieren, dienten neben Literaturrecherchen<sup>2</sup> vor allem Gespräche und Befragungen von Mitarbeitern aus dem Zivilschutz als Quelle (siehe dazu Kapitel 10). Dies umfasste Mitarbeiter des rumänischen Zivilschutzes, Schulungsteilnehmer und Ausbilder an der *Akademie für Krisenmanagement, Notfallplanung und Zivilschutz (AKNZ)* sowie Personal der Leitstelle der Feuerwehr Karlsruhe. Die Mehrzahl der Befragten war auf der operativ-taktischen Ebene tätig. Neben den Anforderungen und Erwartungen an eine Entscheidungsunterstützung im Katastrophenfall wurde auch untersucht, für welche weiteren Einsatzfelder sich die Systemkomponenten nutzen lassen. Die Ergebnisse der Recherchen und der Befragungen werden im Folgenden zusammengefasst.

#### 4.2.1. Allgemeine Anforderungen

Ziel der Forschungsarbeit ist ein System, welches Entscheidungsträger bei der effektiven und effizienten Bewältigung von Erdbebenkatastrophen unterstützt. Der Nutzerkreis sind die Mitarbeiter der Einsatzleitung auf operativ-taktischer Ebene, die den Ressourceneinsatz koordinieren. Es wird eine Katastrophenlage angenommen, in der nur unzureichende Einsatzmittel zur Verfügung stehen, die unter Zeitdruck in einer hoch dynamischen und komplexen Situation zuzuordnen sind. Der Schwerpunkt liegt daher in Hilfestellungen, welche die Ressourcenzuordnung optimieren.

#### 4.2.2. Unterstützung des Anwenders

Die Basisanforderungen an eine Software für Einsatzleitungen ergeben sich aus den Fähigkeiten von Systemen, wie sie aktuell in Leitstellen des Zivilschutzes im Einsatz sind. Diese haben Funktionen, die eine Übersicht über den Zustand der verfügbaren Ressourcen geben und ihre Führung unterstützen. Weiterhin wird ein Überblick über Gefahrenbereiche und Einsatzstellen bereitgestellt. Für die Darstellung der Lage kommt meist eine elektronische Karte auf Basis eines *Geographischen Informationssystem (GIS)* zum Einsatz. Die Verwaltung von Meldungen wird oft ebenfalls durch ein Computerprogramm unterstützt. Potenzielle Nutzer nennen als allgemeine Anforderungen an die Benutzungsschnittstelle ein bekanntes Layout und eine einfache Bedienung mit intuitiver Interaktion. Konkreter wird eine einfache Dateneingabe z. B. durch Drag & Drop-Mechanismen und, soweit möglich, ein Verzicht auf Eingabemasken mit einer großen Anzahl von Feldern erwartet.

Ein bei Befragungen von Experten oft genanntes und bei Beobachtungen selbst erlebtes Problem mit elektronischen Assistenz- und Nachrichtensystemen ist die Verminderung der verbalen Kommunikation. Während viele Anfragen bei der „klassischen“ Stabsarbeit durch kurze Gespräche geklärt werden, führt die Verwendung

---

<sup>2</sup>Als Literaturquellen für die Anforderungen dienten u. a. [LOM10, MLR<sup>+</sup>02, Fra02].

von Computersystemen dazu, dass sich Nutzer „hinter ihrem Monitor verschanzen“, unproduktiv „mit dem System spielen“ oder für Personen, die sie ansprechen wollen, der Eindruck entsteht, sie wären „zu beschäftigt“. Insofern muss als allgemeine Anforderung festgehalten werden, dass ein Unterstützungssystem Freiräume für eine verbale Kommunikation ermöglichen muss und einen Anwender nicht vollkommen vereinnahmen darf.

Die bisherigen Anforderungen bilden zum Großteil Verwaltungsvorgänge, die in der Vergangenheit in Papierform erfolgt sind, in einem elektronischen System ab. Um einen Mehrwert zu liefern, der darüber hinaus geht, wie z. B. eine aktive Unterstützung des Entscheidungsprozesses, sind die in den folgenden Abschnitten beschriebenen Punkte zu beachten.

#### 4.2.2.1. Bewältigung

Die Hilfestellungen des Systems sollen den kognitiven Entscheidungsprozess eines Menschen unterstützen und nicht dessen Entscheidungen ersetzen. Ein Verständnis und eine Orientierung an diesem Prozess ist nötig, um die passende Unterstützung zum richtigen Zeitpunkt liefern zu können. Eine vorgegebene Struktur ist dabei unumgänglich. Diese sollte sowohl intuitive als auch analytische Vorgehensweisen bei der Entscheidungsfindung berücksichtigen. Vor allem muss darauf geachtet werden, dass die intuitive Entscheidungsfindung nicht behindert wird. Ein Seiteneffekt der Orientierung am menschlichen Vorgehen ist zudem eine größere Akzeptanz des Systems bei den Anwendern, da sich Benutzungsschnittstelle und Arbeitsweise an bekannten Mustern orientieren.

Die situative Wahrnehmung, also die verfügbaren Informationen und ihre Beurteilungen, ist die Grundlage jeder Entscheidung. Um nachvollziehbare und korrekte Hilfestellung zu liefern, muss sie auf einer Wahrnehmung basieren, die von Mensch und Maschine geteilt wird. Die Interaktion zwischen Computersystem und Nutzer hat dieses gemeinsame Verständnis herzustellen. Dazu sind einseitig zugängliche Informationsquellen zu teilen. Die Beurteilung sollte in einem kollaborativen Prozess erfolgen, an dessen Ende eine gemeinsame Einschätzung steht. Abhängig von der Art der Information ist dies schwer erreichbar. Quantifizierbare Fakten, wie die Position einer Einheit oder der Wasserstand eines Flusslaufes an einem bestimmten Punkt, sind für Mensch und Maschine über Koordinaten unmissverständlich austauschbar. Aber selbst in Fällen, in denen ein Wert aus einer standardisierten Skala geliefert wird, beinhaltet eine Beurteilung oft subjektive Komponenten [Blu77]. Um dieses Risiko zu mindern, sollten bei der Interaktion Elemente verwendet werden, die dem Nutzer schon aus seiner Arbeit ohne die Software bekannt sind und möglichst wenig Interpretationsspielraum lassen.

Nach der Bereitstellung der Informationen sollten Anwender bei deren Strukturierung unterstützt werden. Nicht jede Information ist bei einer Problemlösung hilfreich und ein Mehr an Information hat nicht zwangsläufig bessere Entscheidungen zur

Folge. Ein Zuviel an Information kann genauso problematisch sein wie ein Zuwenig. Die Informationsverarbeitung sollte einen Zugriff auf die verfügbaren Informationen in unterschiedlichen Aggregations- und Detailstufen ermöglichen. Insofern ist es wichtig, dem Entscheidungsträger, neben einer Strukturierung, Mechanismen der Filterung an die Hand zu geben, mit denen er Informationen nach selbst gewählten Kriterien erkunden kann. Hierbei muss die Software außerdem dafür sorgen, dass wichtige Informationen nicht in einer Datenflut übersehen werden. Ausschlaggebend für Entscheidungen ist das Verständnis des Problems. Dies umfasst die Anforderungen, den Zweck der Entscheidung, die Kriterien für die Entscheidung, die von der Entscheidung Betroffenen sowie die verfügbaren Handlungsalternativen. Im Fall der Allokation von Ressourcen bedeutet dies u. a. die Priorisierung von Handlungsoptionen, mit dem Ziel einer möglichst optimalen Zuordnung (vgl. [Saa08, MLR<sup>+</sup>02]).

Neben der Datenaufbereitung und -darstellung soll ein Entscheidungsunterstützungssystem aktive Hilfestellungen für die Problemstellungen der Entscheider bieten, diese aber im Rahmen einer kooperativen Entscheidungsfindung anbieten [CMS<sup>+</sup>98]. Eine Entscheidungshilfe kann Prognosen auf Basis von Simulationen bereitstellen, die es ermöglichen, Schäden abzuschätzen oder die Lageentwicklung zu projizieren. Unter anderem kann dies bei einer szenariobasierten Entscheidungsfindung eingesetzt werden, um die Auswirkungen verschiedener Entscheidungsalternativen anhand ihrer möglichen Entwicklung zu beurteilen [Sch95]. Eine weitere Unterstützung ist die Bereitstellung unterschiedlicher Handlungsalternativen, die durch das System im Hinblick auf ihre Erfolgsaussichten bewertet werden. Als Quelle für die Erstellung solcher Vorschläge und ihre Beurteilung dient Expertenwissen, welches im System abgelegt wurde. Es ist zu berücksichtigen, dass der Verlauf einer Katastrophenbewältigung in unterschiedlichen Phasen erfolgt, die von verschiedenen Anforderungen geprägt sind. Während zu Beginn der Katastrophe kaum Informationen verfügbar sind und die Informationsgewinnung im Vordergrund steht, ist in der Hauptphase die Verwaltung der umfangreich eingehenden Informationen die Herausforderung. Eine Filterung und Bewertung der Informationen ist notwendig, um die Rettung und Bergung möglichst vieler Opfer der Katastrophe zu ermöglichen. Dieses Ziel rückt in der Spätphase in den Hintergrund, da kaum noch mit Überlebenden in beschädigten Gebäuden gerechnet werden kann und die Versorgung der Überlebenden die höchste Priorität hat.

Da sich Katastrophen während der Bewältigung schnell ausweiten können, muss das System fähig sein, darauf zu reagieren, indem es an unterschiedliche Organisationsstrukturen anpassbar ist, z. B. weitere Hierarchieebenen. Der Verlauf des Einsatzes muss archiviert werden können, um die Möglichkeit zu haben, ihn im Nachhinein zu analysieren und daraus Erfahrungen zu gewinnen. Dies ist eine Voraussetzung, um zukünftig bessere Entscheidungen in vergleichbaren Situationen treffen zu können (Lessons Learned). Die Ergebnisse dieser Analysen können außerdem auch in die Gestaltung neuer Übungsszenarien einfließen (vgl. [MLR<sup>+</sup>02]).

#### 4.2.2.2. Weitere Einsatzfelder

Eine Entscheidungsunterstützung ist nur dann sinnvoll, wenn sie von der Zielgruppe der Anwender akzeptiert wird und die Anwender mit ihr arbeiten können. Nicht nur im Hinblick darauf ist es fraglich, ob ein spezialisiertes System ausschließlich für die Katastrophenbewältigung die beste Lösung darstellt. In der Praxis kommen allerdings, abhängig von der Phase im Katastrophenzyklus und der Organisation, oft unterschiedliche Systeme und Werkzeuge zum Einsatz. Die Gründe dafür sind vielfältig. In Deutschland nutzen die unterschiedlichen Organisationen oft eigens für sie entwickelte Werkzeuge. Je nach Region sind ebenfalls verschiedene Systeme im Einsatz. Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen in den Phasen Planung, Schulung oder Bewältigung kommen auch hier dedizierte Systeme zum Einsatz, die anhand der spezifischen Anforderungen entwickelt wurden. Dabei wird sowohl im Gespräch mit Experten als auch in der Literatur (siehe [Com93]) ein einheitliches System als ideal angesehen, das Ausbildung, Übung und Bewältigung sowie Planung und Tagesgeschäft abdeckt. Aus Sicht des Katastrophenmanagementzyklus entspricht dies einer Nutzung in den Phasen Vorbeugung, Vorbereitung und Bewältigung. Neben geringeren Kosten fördert ein einheitliches System vor allem die Akzeptanz und das Vertrauen der Anwender im Einsatzfall (vgl. [CMS<sup>+</sup>98]). Eine regelmäßige Nutzung, auch außerhalb der Katastrophenbewältigung, sorgt für eine gepflegte Datenbasis sowie ein frühzeitiges Erkennen von Fehlern und Problemen der Software.

Interviews mit den Mitarbeitern der AKNZ sowie dem rumänischen Zivilschutz dienten unter anderem dazu, die Anforderungen an ein System für *Schulungs- und Übungszwecke* zu sammeln. Eine entsprechende Software soll die Handlungsketten der am Training Beteiligten zur späteren Analyse rekonstruieren können. Dazu muss bestimmbar sein, durch welches Ereignis welche Handlungen wann ausgelöst bzw. versäumt wurden. Dafür ist eine Archivierung und Nachverfolgbarkeit aller versendeten Nachrichten notwendig. Die Schulung des Personals für einen realen Einsatz auf Grundlage von Simulationen ist im militärischen Bereich eine verbreitete Praxis. Simulationen können bei der Gestaltung von Übungsszenarien unterstützen oder sogar den Übungsverlauf direkt steuern. Zum Beispiel erlaubt es die Simulation von Brand- bzw. Löschvorgängen, den möglichen Verlauf eines Brandereignisses unter Berücksichtigung der eingesetzten Ressourcen zu bestimmen, ohne dabei auf die Erfahrung und die Einschätzung eines Übungsleiters zurückgreifen zu müssen. Eine weitere Anforderung ist die Unterstützung bei der Verwaltung und Erstellung von Übungsszenarien. Bei der Durchführung einer Übung wird auf eine vorgefertigte Liste von Ereignissen in Form von Nachrichten und Meldungen zurückgegriffen. Diese *Master Scenario Event List (MSEL)* ist eine chronologisch geordnete Liste mit Ereignissen in der Katastrophenumwelt, die zu einem definierten Zeitpunkt, je nach Lage, durch die Übungsleitung in das Übungsszenario eingespielt werden.

Ziel der *Planung* ist es, die Risiken, die aus einem Gefahrenszenario erwachsen, soweit wie möglich zu mindern, indem eine möglichst umfangreiche Vorbereitung

auf alle Eventualitäten im Vorfeld erfolgt. Ergebnis ist der sogenannte Katastrophenplan. Dieser gibt, abhängig von der vorliegenden Gefahrensituation und ihrem Verlauf, Hinweise bezüglich notwendiger Ressourcen und vorbereitender Maßnahmen sowie konkrete Handlungsempfehlungen für die Bewältigung. Diese Handlungsempfehlungen können ähnlich dargestellt und verwaltet werden wie eine MSEL aus dem Übungsumfeld. Simulationen und Prognosen sind auch in der Planung nützliche Hilfsmittel. Wie bei der Bewältigung können sie zu einer szenariobasierten Entscheidungsfindung genutzt werden, indem sie z. B. ein Urteil darüber ermöglichen, ob und wie sicher ein Gefahrenszenario mit einer gegebenen Anzahl Ressourcen bewältigt werden kann. Die Prüfung der Erfolgsaussichten eines Plans kann mithilfe von Simulationen erfolgen. Aufgrund von Schadenssimulationen ist es möglich, besonders gefährdete Bereiche im Vorfeld zu bestimmen, was wiederum einer Verbesserung der Katastrophenpläne dient. Dabei entwickelte Pläne gehen über die rein operativ-taktische Ebene hinaus und beinhalten auch strategische Elemente.

Um den Einsatz des Systems über die Katastrophenbewältigung hinaus sicherzustellen, wäre die Integration seiner Unterstützungskomponenten in vorhandene Systeme von Behörden zu begrüßen. Diese sind allerdings schon in ihrem Aufbau nicht für die Herausforderungen während einer Katastrophe ausgelegt, sondern im Hinblick auf statische, gut analysierte und verstandene Aufgaben entwickelt worden. Eine komplexe, sich dynamisch entwickelnde Lage benötigt dagegen ein System, welches sich der Situation anpassen kann [CMS<sup>+</sup>98]. Im Rahmen der Forschungsarbeit wurde daher, über den Hauptuntersuchungsgegenstand einer Entscheidungsunterstützung bei der Bewältigung einer Katastrophe hinaus, das Konzept eines ganzheitlichen Unterstützungssystems für die operativ-taktische Entscheidungsebene evaluiert, welches die Vorbeugungs-, Vorbereitungs- und Bewältigungsphase des Katastrophenzyklus abdeckt. Die Architektur bietet umfangreiche Anpassungsmöglichkeiten, damit es sowohl in einfachen als auch komplexen Lagen sinnvoll eingesetzt werden kann.

### 4.2.3. Unscharfe Informationen

Wie in Abschnitt 3.2 dargestellt ist die Situation während der Bewältigung einer Katastrophe geprägt durch Dynamik und Unsicherheit. Dies gilt auch für die verfügbaren Informationen. Ihre Wahrnehmung und Verarbeitung stellt für Mensch und Maschine eine besondere Herausforderung dar. Die Modellierung unsicherer Informationen erfolgt üblicherweise nach einem probabilistischen Vorgehen [Fel68]. Unsicherheit ist allerdings nur ein Element des vorliegenden Problems, weshalb im Weiteren der Oberbegriff unscharfe Informationen verwendet wird. Unscharf fasst dabei die Eigenschaften der vagen, unpräzisen und unsicheren Information zusammen:

- *Vagheit* wird in der alltäglichen Kommunikation bewusst in Kauf genommen, um diese zu erleichtern. Die zu übermittelnden Informationen werden auf den wesentlichen Anteil beschränkt, der für das gezielte Handeln in einer

bestimmten Situation notwendig ist. Daher sind z. B. Aussagen wie „schnell“ und „nicht-schnell“ nur in ihrem Kontext korrekt interpretierbar [BK01].

- Von *unpräzisen* Informationen spricht man, wenn eine boolesche Wahr-oder-falsch-Aussage bezüglich eines Objektes möglich ist, diese Aussage den Sachverhalt inhaltlich aber ungenau widerspiegelt. Dies lässt sich unter anderem darauf zurückführen, dass der Zustand eines Gegenstandes in einer Umwelt nicht mit beliebiger Genauigkeit beobachtet oder gemessen werden kann. Im Bereich der Katastrophenbewältigung liegen oft keine exakten Messwerte, sondern nur Beobachtungen vor. Deren Beschreibung erfolgt in Form einer verbalen Skala, die relativ grob eingeteilt ist und z. B. Adjektive wie stark oder leicht verwendet. Die Tatsache, dass das menschliche Denken keine scharfen Grenzen zwischen Begriffen zieht, trägt zur Ungenauigkeit von Beobachtungen bei [KGK95, Lip06a].
- *Unsicher* ist eine Information, wenn sie mit einer statistisch modellierbaren Wahrscheinlichkeit zutrifft. Es wird unterschieden zwischen Unsicherheit aufgrund von unvollständigem Wissen über den Untersuchungsgegenstand (epistemische Unsicherheit) oder von Zufälligkeiten im Verhalten des Gegenstandes (aleatorische Unsicherheit). Im Rahmen der Arbeit ist hauptsächlich die epistemische Unsicherheit in menschlichen Beobachtungen von Interesse (siehe [Hof96]).

Die genannten Quellen für Unschärfe treten meist in Kombination auf. Vagheit kann in den Meldungen, die mit einem Katastrophenstab ausgetauscht werden, weitestgehend ausgeschlossen werden, da der Informationsaustausch in einer vorgegebenen strukturierten Form erfolgt (siehe dazu Kapitel 2). Vor allem sind unpräzise und zugleich unsichere Informationen zu berücksichtigen. Quellen für Unschärfe sind u. a. eine unpräzise linguistische Kodierung und die Unsicherheit aufgrund der individuellen Wahrnehmung. Eine verbale Klassifikation, wie die von Verletzungen oder Gebäudeschäden, erfolgt nicht anhand exakter Messwerte. Zusätzliche Unsicherheit resultiert daraus, dass diese Klassifikationen auf Beobachtungen von Menschen basieren, was eine weitere Fehlerquelle darstellt. Ein Beispiel dafür ist, dass bei einer Meldung über ein Gebäude diesem die falsche Hausnummer zugeordnet wird. Die Entscheidungsunterstützung berücksichtigt Unschärfe im Datenmodell und bei der Auswertung von Informationen.

#### 4.2.4. Technische Anforderungen

Robustheit ist eine allgemeine technische Erwartung an Systeme in einem kritischen Bereich wie dem Katastrophenschutz. Da das entwickelte System nicht für einen produktiven Betrieb vorgesehen ist, sondern den Prototyp einer Machbarkeitsstudie darstellt, schlägt sich diese Anforderung nur dahingehend nieder, dass die verwendeten Technologien und die Architektur eine robuste Realisierung ermöglichen sollen.

Die zweite Erwartung lässt sich mit Skalierbarkeit zusammenfassen. Hierunter ist einerseits die technische Skalierbarkeit zu verstehen, also die Fähigkeit, große Einsatzgebiete oder viele Einheiten zu verwalten sowie viele Entscheidungsträger gleichzeitig zu bedienen. Andererseits ist darunter die Fähigkeit zu verstehen, das an System unterschiedliche Gefahrenlagen anpassen zu können. Bei beiden Dimensionen der Skalierung ist eine modulare Architektur vorteilhaft. Durch sie können, abhängig vom Einsatzfeld und dem Anwender, zum System Komponenten dynamisch hinzugefügt oder daraus entfernt werden. Dies ermöglicht eine genaue Fokussierung auf die bestehenden Anforderungen. Weitere abgeleitete Anforderungen an die Skalierbarkeit sind die Interoperabilität mit anderen Systemen und ein flexibles internes Datenmodell.

Die im Zivilschutz eingesetzte technische Infrastruktur ist sehr uneinheitlich. Die Zivilschutzorganisationen verschiedener Nationen nutzen höchstens national einheitliche Lösungen und für spezifische Aufgabengebiete existieren nochmals unterschiedliche Systeme. In Deutschland unterscheiden sich die Systeme auf Bundesland- und sogar Landkreisebene, da nationale Vorgaben fehlen. Mit der vorliegenden Implementierung soll daher evaluiert werden, wie eine Systemarchitektur im Hinblick auf Interoperabilität konzipiert sein sollte, damit sie eine möglichst einfache Integration in und von anderen Systemen ermöglicht. Interoperabilität ist die Fähigkeit unterschiedlicher Systeme einer gemeinsamen Domäne, möglichst effizient Informationen miteinander auszutauschen. Dabei lassen sich verschiedene Stufen der Interoperabilität unterscheiden [GW09]. Für Dateninteroperabilität muss gewährleistet sein, dass ein Datenaustausch zwischen Systemen möglich ist. Eine Weiterverarbeitung dieser Daten im Empfängersystem ist in keinsten Weise erforderlich. Die syntaktische Interoperabilität ergänzt die Dateninteroperabilität um die Fähigkeit des Empfängers, die übertragenen Daten direkt verwenden und weiterverarbeiten zu können. Das verwendete Datenformat muss von allen beteiligten Systemen direkt oder durch eine interne Umsetzung verstanden werden. Semantische Interoperabilität erfordert zusätzlich ein gemeinsames Verständnis der Bedeutung der Daten, also eine einheitliche Interpretation der ausgetauschten Informationen durch Sender und Empfänger. Gibt es ein gemeinsames Verständnis davon, welche Handlungen zu welchen Informationen vorhanden sind, spricht man von pragmatischer Interoperabilität. Systeme operieren dann in einer Art und Weise, als seien sie Module eines übergeordneten Gesamtsystems. Diese Stufe sollen die einzelnen Komponenten des DMT erfüllen. Die Anforderungen an Komponenten externer Systeme sind geringer. Je nach Komponente wird lediglich eine syntaktische oder semantische Interoperabilität erwartet (vgl. [LOM10] und [VBP08]). Aktuell gibt es keine allgemein anerkannten Standards für ein Datenformat im Katastrophenschutz (vgl. [BCD<sup>+</sup>03]). Es existieren allerdings Kandidaten und Vorschläge für unterschiedliche Einsatzfelder. Zwar bildet keines dieser Formate für sich alleine den für das DMT notwendigen Funktionsumfang ab, dessen Datenformat ist aber eine Erweiterung und Synthese der vorhandenen Standards. Dies erleichtert die Interoperabilität mit Systemen, die einen der berücksichtigten Standards einsetzen.

Ein flexibles internes Datenmodell ist eine Voraussetzung für die Anpassbarkeit eines Systems an neue Einsatzfelder. Im vorliegenden Fall muss das Modell generisch genug sein, um verschiedene Arten von Katastrophen mit ihrer Vielzahl an Fakten und Handlungen beschreiben zu können. Trotzdem muss der Zustand der Umwelt in einer für einen Computer auswertbaren Form abgebildet sein, damit er als Quelle für die Rechnerunterstützung bei der Ressourcenplanung dienen kann [MLR<sup>+</sup>02]. Zusätzlich sollen in dem Datenmodell unscharfe Informationen abgelegt und verarbeitet werden können. Das Problem für den Rechner liegt hierbei nicht nur in der internen Repräsentation, sondern auch in einer verständlichen Darstellung für den Anwender. Ein weiterer Teil des Datenmodells ist das Wissen, auf welchem die Entscheidungsunterstützung beruht. Statt dieses in fest programmierten Routinen im Quellcode zu verankern, sollte es so weit wie möglich in einer veränderbaren externen Datenbasis codiert sein. So ist ein einfaches Ergänzen und Abändern möglich, falls neue Erkenntnisse verfügbar sind. Bei der Codierung des Wissens ist zu beachten, dass es zum Großteil auf den Erfahrungen von Experten beruht. Eben diese sind meist Laien in der Softwareentwicklung, sie sollten aber nach Möglichkeit auch Regeln anpassen und erweitern können. Idealerweise sind das Format und die Struktur der Daten auch für Menschen ohne Programmierkenntnisse verständlich. Sowohl im Hinblick auf Robustheit als auch der technischen Skalierbarkeit ist die Ablage der Daten relevant. Fakten bezüglich der aktuellen Lage, Ressourcen und Einsatzstellen müssen für alle Personen in der Einsatzleitung zugänglich sein. Bewertungen zur aktuellen Lage sowie Simulationsszenarien können dagegen auch nur lokal vorliegen. Eine zentrale Datenhaltung und die Nutzung einer Web-Applikation würde eine zentrale Verwaltung und einen einfachen Austausch der Daten ermöglichen. Eine zentrale Infrastruktur kann allerdings während einer Katastrophe ggf. nicht eingesetzt werden, da das System selbst oder das Netzwerk in Mitleidenschaft gezogen wurde. Auch die technische Skalierbarkeit leidet unter diesem Ansatz. Vor diesem Hintergrund *ist eine verteilte Ablage der Daten* die bessere Lösung, bei der aber der einfache Austausch der Daten sichergestellt sein muss.

#### 4.2.5. Akzeptanz

Betrachtet man die Akzeptanz eines computerbasierten Unterstützungssystems durch Anwender, hängt diese unter anderem von der Erfahrung mit Computersystemen im Allgemeinen ab. Hier zeigt sich ein altersbedingtes Gefälle. Die nicht aufzuhaltende Durchdringung der Gesellschaft mit Computersystemen sollte dieses Problem lösen, weshalb es nicht weiter berücksichtigt wird. Relevanter erscheint, dass Anwender unabhängig von ihrer Erfahrung eine sehr unterschiedliche Einstellung zu aktiven Entscheidungshilfen durch eine Software haben. Bei aktiven Entscheidungshilfen schlägt das System dem Anwender Maßnahmen vor und bewertet oder priorisiert sie. Die Unterstützung geht also über eine Aufbereitung zur leichteren kognitiven Verarbeitung hinaus (vgl. Unterabschnitt 4.3.2). Bezüglich der Akzeptanz lassen sich drei Gruppen von Anwendern unterscheiden:

- *Skeptiker* sehen aktive Entscheidungshilfen grundsätzlich als problematisch. Das Unverständnis der internen Abläufe, die zu den Ratschlägen führen, ist meist der Hintergrund ihrer Ablehnung. Sie äußert sich in Misstrauen gegenüber bereitgestellten Hilfestellungen.
- *Enthusiasten* akzeptieren oft die Hilfestellung von Assistenzsystemen, ohne sie kritisch zu hinterfragen. Während dies vordergründig als positiv für den Einsatz eines Systems angesehen werden kann, ergibt sich das Problem, dass die unkritische Verwendung der Hilfestellungen zu Fehlentscheidungen verleitet. Die Schuld kann dabei leicht dem System zugeschrieben werden, was seine langfristige, effektive Nutzung wieder infrage stellt.
- *Realisten* betrachten ein System durchaus als nützlich, sollte es sich im Einsatz bewähren. Sie sehen allerdings auch dessen Grenzen. Im vorliegenden Fall ist dazu neben der Akzeptanz technischer Hilfsmittel Erfahrung im Katastrophenmanagement und ein gewisses Verständnis bezug auf die Arbeitsweise des unterstützenden Systems nötig.

Vertrauen von Skeptikern in die Hilfestellungen des DMT lässt sich nur erreichen, indem so weit wie möglich verständlich ist, auf welchen Fakten die Schlüsse des Systems beruhen, bzw. dem Nutzer verständliche Argumente für die vorgeschlagene Problemlösung gegeben werden. Der Eindruck einer Bevormundung des Anwenders muss vermieden werden. Stattdessen soll er ein Verständnis für das Vorgehen des Systems bei der Bewertung der Gefahrenlage entwickeln. Die Entscheidungsfindung sollte dazu als kooperativer Prozess zwischen Anwendung und Anwender konzipiert sein. Voraussetzung dafür ist der Verzicht auf vollständig generierte Lösungen. Dies vermindert auch die Gefahr von Fehlentscheidungen durch *Enthusiasten*. Bei einer kooperativen Problemlösung sind einseitige Fehler unwahrscheinlich. Da der *Realist* die Hilfestellungen des Systems einzuschätzen weiß, ist sein Risiko einer Fehlinterpretation gering. Es besteht allerdings die Gefahr, dass ein System dem Vorgehen des Nutzers nicht angepasst ist und ihn deshalb in seiner Arbeit mehr behindert als unterstützt. Die Benutzungsschnittstelle sollte daher an den Entscheidungsprozess (siehe Kapitel 3) angepasst sein.

### 4.3. Lösungsansätze

Um eine Lösung zu entwickeln, welche die zuvor gesammelten Anforderungen erfüllt, wurden Ansätze aus den Disziplinen *Entscheidungsunterstützungssysteme (EUS)* (*Decision Support Systems (DSS)*), unscharfe Logik (Fuzzy Logik) und Simulationssysteme kombiniert. Diese werden in den folgenden Abschnitten vorgestellt.

### 4.3.1. Einführung Entscheidungsunterstützungssysteme

Ein *Entscheidungsunterstützungssystem* ist eine Software, welche Entscheidungsträger in ihrem Entscheidungsprozess bei einer meist schlecht strukturierten Problemstellung unterstützt [Kin81]. Die Betrachtung von Quellen, die einen Überblick über den Themenkomplex [NFM07, AP05] sowie Ansätze einer Einordnung von Systemen [Pow07, Hae99] bieten führt zur Erkenntnis, dass der Bereich der EUS kein homogenes Forschungsfeld darstellt. Der Begriff bezeichnet vielmehr eine Philosophie bezüglich der Entwicklung von Informationssystemen und keine spezifische Technologie. Entsprechend hat sich das Verständnis, was ein DSS ausmacht, mit der Verfügbarkeit neuer Technologien und Verfahren in den letzten Jahren verändert bzw. erweitert. Der Fokus in den 1970er-Jahren lag bei der Aggregation, Aufbereitung und Darstellung von Daten. Er verschob sich immer stärker in Richtung Interaktion und umfasste später auch Methoden aus der künstlichen Intelligenz [Pow07]. Dies führte zum Begriff des *Intelligent Decision Support System (IDSS)*. Mit dem Begriff des EUS ist der des *Management Information System (MIS)* eng verbunden. Dieser beinhaltet die Entscheidungsunterstützung auf den oberen Hierarchieebenen einer Organisation.

Obwohl eine genau Abgrenzung des Forschungsfeldes des EUS schwerfällt, lassen sich Kriterien festlegen, anhand derer sich das in dieser Arbeit entwickelte System klassifizieren und beschreiben lässt. Bezüglich der Forschungsthemen kann unterschieden werden zwischen Personal DSS, Group Support Systems (GSS), Executive Information Systems (EIS) sowie Business Intelligence (BI), Data Warehouse, Intelligent DSS, Knowledge Management-based DSS sowie Negotiation Support Systems (vgl. [AP05]). Die Aufzählung macht die Verbindung zur Forschung zu Werkzeugen der Unternehmenssteuerung deutlich. In dieser Arbeit sind die Bereiche der Personal DSS, Group Support Systems sowie der Intelligent DSS von Relevanz. Zu klären ist die Frage, ob das DMT eher als Group Support System oder als Personal DSS zu sehen ist. Die Entscheidungen in Bezug auf bestimmte Einsatzkräfte erfolgt fast immer durch eine einzelne Person. Meist sind eigene Spezialisten für die unterschiedlichen Arten von Einsatzkräften verantwortlich. Ihr Ziel ist die Bewältigung der Katastrophe; dazu muss zwischen den Verantwortlichen ein intensiver Austausch von Informationen stattfinden. Dies sind Aspekte eines Group Support Systems; allerdings steht bei der Unterstützung die Entscheidung des Individuums im Vordergrund. Somit ist das DMT sowohl als ein Personal DSS als auch als Intelligent DSS einzuordnen. Intelligent deshalb, weil es seine Entscheidungshilfen mit Regeln aus einer Wissensbasis erstellt.

Bei der Einordnung der Arbeitsweise eines Systems unterscheidet [Hae99] passive, aktive und kooperative DSS. Passive DSS unterstützen die Entscheidungsfindung, ohne eigene Entscheidungsvorschläge zu machen. Aktive dagegen stellen dem Nutzer Entscheidungs- und Lösungsvorschläge zur Verfügung. Bei kooperativen DSS erstellt und verbessert der Anwender seine Entscheidung im System, bevor er diese zur Validierung an das Hauptsystem schickt. Das DMT weist, abhängig von der

Phase der Entscheidungsfindung, die es jeweils unterstützt, alle drei Arbeitsweisen auf. Informationsdarstellung sowie -aufbereitung sind Merkmale eines passiven DSS. Schwerpunkt der Arbeit sind die aktiven Hilfestellungen in Form von Hinweisen und Handlungsvorschlägen. Diese können vom System in einer kooperativen Form validiert und beurteilt werden, außerdem findet eine kooperative Beurteilung der Lage statt. Diese Merkmale entsprechen einem kooperativen PSS.

Power schlägt eine dritte Form der Klassifikation von Hilfestellungen vor (siehe [Pow07]). Er unterscheidet zwischen:

- *Document-driven DSS*, die beim Suchen nach und Auffinden von den für eine Entscheidungsfindung richtigen Dokumenten unterstützen.
- *Communication-driven DSS*, welche die Kommunikation und die Zusammenarbeit verbessern und damit die Produktivität und Schnelligkeit der Entscheidungsfindung erhöhen.
- *Data-driven DSS (DD-DSS)*, die auf Basis der Auswertung von Daten aus Zeitreihen neue Informationen generieren.
- *Model-driven DSS (MD-DSS)*, die aktiv Handlungsempfehlungen geben, indem sie auf eine Problemstellung analytische Methoden anwenden und mit Optimierungsverfahren nach der besten Lösung suchen.
- *Knowledge-driven DSS (KD-DSS)*, die Hilfestellung zu einer spezifischen Domäne auf Basis eines im System codierten Fachwissens erstellen.

Auch hier weist das DMT die Eigenschaften mehrerer Klassen auf: Da es einerseits Optimierungsverfahren einsetzt, um Handlungsempfehlungen zu generieren, und andererseits Hilfestellungen auf Basis einer Regel- und Datenbasis mit Fachwissen erzeugt, ist es sowohl Model-driven als auch Knowledge-driven. Daneben werden die Kommunikation und der Wissensaustausch zwischen den Entscheidungsträgern unterstützt, weshalb es Eigenschaften eines Communication-driven DSS aufweist. Eine eindeutige Zuordnung des DMT in typische Klassen eines DSS ist schwer möglich. Durch die Orientierung am Entscheidungsprozess und die sich daraus ergebenden unterschiedlichen Anforderungen je nach betrachteter Phase kommen verschiedene Verfahren zum Einsatz, die das DMT zu einem hybriden DSS mit aktiven und passiven Entscheidungshilfen macht.

### 4.3.2. Aktive Entscheidungsunterstützung

Aktive DSS generieren eigenständig Handlungsvorschläge anhand einer Sammlung vorgegebener Regeln und Algorithmen. Die aktiven Entscheidungshilfen des DMT haben die Optimierung der Zuordnung von Einsatzkräften und technischen Ressourcen bei der Bewältigung einer Erdbebenkatastrophe zum Ziel. In Form interaktiver Assistenten werden dem Anwender Handlungsvorschläge und Hinweise zur Situation angeboten. Außerdem bewertet das System Informationen anhand ihrer Relevanz

und stellt dem Anwender eine entsprechend gefilterte Ansicht zur Verfügung. Trotz der aktiven Rolle des Systems wird ein kooperativer Prozess angestrebt, in dem die jeweiligen Stärken von Computer und Mensch zum Tragen kommen können. Die Interaktion zwischen Mensch und Maschine muss dieses Ziel unterstützen und einem Schema folgen, welches für den Anwender verständlich ist. Daher orientieren sich die Hilfestellungen an den Phasen des in Unterabschnitt 3.4.2 vorgestellten Prozessmodells.

#### 4.3.2.1. Expertensysteme

*Expertensysteme (XPS)* sind Programme, die mithilfe von im Rechner codiertem Expertenwissen Bewertungen und/oder Lösungen für Problemstellungen einer bestimmten Domäne bieten; es handelt sich damit um ein Gebiet der *künstlichen Intelligenz (KI) (Artificial Intelligence (AI))*. Erste Grundlagen stammen aus den 1960er-Jahren; im kommerziellen Bereich werden sie seit den 1980er-Jahren eingesetzt. Ziel eines XPS ist, die Leistungsfähigkeit eines Experten zu simulieren. In einer sogenannten *Wissensbasis (Knowledgebase)* wird das verfügbare Wissen zu der unterstützen Problemdomäne in einer formalisierten Form codiert, sodass es in Auswertungsroutinen genutzt werden kann. Die Sammlung und Codierung von Wissen wird als *Wissensmodellierung (Knowledge Engineering)* bezeichnet. Kann die Software selbst neues Wissen erwerben, liegt ein lernendes System vor [Jac98]. Bei der Umsetzung eines XPS lassen sich die folgenden drei Ansätze unterscheiden.

**Fallbasierte Systeme** Bei diesen wird eine *Falldatenbasis (Falldatenbank)* der Problemdomäne genutzt, in der gesammelte Situationen als Tupel aus einer Problemstellung mit ihrer Lösung abgelegt sind. Der Inhalt der Falldatenbasis wird aus Expertenbefragungen sowie den Erfahrungen aus Entscheidungen bei realen Ereignissen gespeist. Zur Lösungsfindung wird im Analogieschluss eine Situation aus der Falldatenbasis gesucht, die zu der aktuell untersuchten die größte Ähnlichkeit aufweist (siehe [Kol14]). Dieses *fallbasierte Schließen (Case-Based Reasoning (CBR))* ahmt eine Problemlösungsstrategie des Menschen nach, wie sie im RPD-Modell in Kapitel 3 beschrieben ist. Zum Aufbau einer sinnvollen Fallbasis reicht eine Expertenbefragung nicht aus. Es ist eine größere Anzahl Situationen nötig, die vergleichbar mit der Problemsituation sein müssen. Katastrophenereignisse sind selten und die vorliegende Situation ist oft einzigartig, weshalb es schwierig ist, entsprechende Analogien zu finden. Eine CBR-Lösung ist daher für die vorliegende Domäne schwierig umzusetzen.

**Entscheidungsbäume** *Entscheidungsbäume* werden insbesondere bei *Klassifizierungsproblemen* eingesetzt. Bei einem Klassifizierungsproblem sollen Situationen anhand der Ausprägung beschreibender Attribute einer Klasse zugeordnet werden. Die

dabei genutzten Entscheidungsbäume lassen sich auf Basis einer Beispielmenge mittels eines induktiven Lernprozesses eigenständig erzeugen (siehe [SHKS99]). Die eigentliche Klassifikation einer Situation erfolgt durch das Durchlaufen des Pfades im Entscheidungsbaum, abhängig von der Ausprägung der Attribute bei der Problemstellung. Die Blätter (Endknoten) des Baumes stellen die gesuchte Einordnung in eine Klasse dar. Für Klassifizierungsprobleme können auch andere Lösungsverfahren Anwendung finden, wie neuronale Netze oder genetische Algorithmen [SHKS99]. Die Herausforderung bei Entscheidungsbäumen liegt darin, den Baum möglichst flach, aber trotzdem aussagekräftig zu gestalten, also in der Wahl der Attribute, die an den einzelnen Knoten als Entscheidungskriterium dienen. Die besondere Herausforderung beim Einsatz in der Entscheidungsunterstützung für die Katastrophenbewältigung liegt in der exakten Erfassung von Entscheidungskriterien aus einer vorliegenden Lage sowie der Kodierung der verschiedenen Entscheidungsbäume, die aufgrund der Anzahl unterschiedlicher Problemstellungen nötig sind.

**Wissensbasierte Systeme** In einem wissensbasierten System ist Expertenwissen in deklarativer Form abgelegt, um daraus Schlüsse zu ziehen und Problemlösungen zu entwickeln. Die Deklaration des Wissens basiert nicht auf konkreten Fallbeschreibungen, sondern auf Produktionsregeln der Form „*Wenn A, dann B*“, die in symbolischer Form in der Wissensbasis abgelegt sind. Entsprechend wird die Bezeichnung *regelbasiertes System* oder, abhängig vom Anwendungsgebiet, *Business Rule Management System (BRMS)* verwendet. Der *Wenn*-Teil einer Regel ist ihre *Prämisse*, der *Dann*-Teil die *Konklusion*. Regeln stellen allgemeine Gesetze dar, aus denen Schlussfolgerungen für konkrete Situationen gezogen werden können. Sie basieren auf Expertenwissen, welches durch Befragungen oder die direkte Eingabe durch menschliche Experten in das System eingepflegt wird (siehe [BKI08]). Die Auswertung der Regeln erfolgt durch logisches Schließen, auch als Inferenz bezeichnet. Es werden zwei Vorgehensweisen, die Vorwärts- und die Rückwärtsverkettung (Forward- bzw. Backward-Chaining),<sup>3</sup> unterschieden.

Die *Vorwärtsverkettung* ist datengetrieben. Ausgangsbasis sind die Daten, bestehend aus den aktuell verfügbaren Fakten. Regeln, deren Prämisse erfüllt ist, werden aktiviert, wodurch ihre Konklusionen als zusätzliche Fakten propagiert werden. Das Aktivieren einer Regel, auch als Feuern bezeichnet, führt im Allgemeinen zu neuen Fakten, die wiederum weitere Regeln aktivieren können. Eine Vorwärtsverkettung ist abgeschlossen, wenn keine neue Regel mehr feuert. Anhand dieses Vorgangs wird durch die sich ergebenden Schlüsse neues Wissen erzeugt. Bei der *Rückwärtsverkettung* wird umgekehrter Richtung zielorientiert von einer Konklusion ausgegangen, die anhand der vorliegenden Fakten belegt werden soll. Ist dies im ersten Schritt nicht möglich, wird versucht, das Ziel indirekt über untergeordnete Ziele zu erreichen. Dies wird solange wiederholt, bis die Konklusion erreicht wurde oder sich, wie bei der Vorwärtsverkettung, keine passende Prämisse mehr findet. Neben dem

---

<sup>3</sup>[Jac98] beschreibt Details zu den Verfahren.

logischen Schließen aufgrund von Wahrheitswerten kann Inferenz auf Basis unscharfer Daten erfolgen. Diese Fuzzy Inferenz bedient sich der Vorwärtsverkettung (siehe [KKG13]), allerdings unter den Gesichtspunkten der unscharfen Fuzzy Logik, wie in Unterabschnitt 4.3.5 beschreiben.

Kernkomponente eines wissensbasierten Systems ist seine *Wissensbasis*. Sie enthält deklarative Regeln, die generisches und fallspezifisches Wissen einer Problemdomäne beinhaltet. Diese Regeln werden auf Fakten angewendet, welche die Sicht des Systems auf die aktuelle Situation widerspiegeln. Die *Inferenzkomponente* erweitert anhand der Regeln die verfügbaren Fakten um neue Schlüsse. Ihre Ergebnisse werden über eine *Benutzungsschnittstelle* Anwendern oder dem Wissensingenieur, der die Wissensmodellierung verantwortet, dargestellt. Bei einem XPS kommt eine *Wissenserwerbskomponente* hinzu, die eine manuelle oder automatische Erweiterung der Wissensbasis ermöglichen soll, sowie eine *Erklärungskomponente*, welche dem Anwender die Lösungsfindung erläutert, damit nachvollziehbar ist, wie und warum welche Schlüsse durch das System gezogen wurden. Der Vorteil wissensbasierter Systeme besteht in der Reproduzierbarkeit ihrer Ergebnisse. Sind Fakten und Regeln gleich, kommt es immer zu den gleichen Ergebnissen. Auch ist der Aufbau einer Wissensbasis leicht zu verstehen, da sich die Regeln in einzelne, unabhängige Wissensseinheiten gliedern lassen. Zu deren Verständnis reicht es aus, sie getrennt zu betrachten. Einzelne Wissensseinheiten sind leicht korrigier- und anpassbar, da nur Regeln aus einem begrenzten Kontext überprüft und ggf. geändert werden müssen. Dies gilt auch für die Anpassung an einen schnell wachsenden Kenntnisstand, der z. B. bei diffusen Sachgebieten häufig auftritt. Auch die Wissensbasis des DMT ist gegliedert in einen allgemeinen Teil mit Regeln, die von allen Agenten genutzt werden, und den spezifischen Regeln für die Zuordnung der unterschiedlichen Ressourcentypen. In den spezifischen Regeln erfolgen noch weitere Untergliederungen anhand der verantworteten Ressourcenklassen.

#### 4.3.2.2. Operations Research

Der Forschungsbereich des *Operations Research (OR)* untersucht Möglichkeiten zur Unterstützung einer Entscheidungsfindung im Rahmen eines Planungsprozesses. Ziel ist es, eine reale Problemstellung in ein mathematisches Problem zu fassen. Die beschreibenden Größen und Abhängigkeiten werden mathematisch modelliert, um sie so weit zu formalisieren, dass das Problem mit einem entsprechenden Verfahren gelöst werden kann.<sup>4</sup> Die Herausforderungen liegen in der Modellierung und dem Lösungsverfahren. In der Modellierung ist darauf zu achten, dass sie nicht zu komplex sein sollte, um eine Lösung in einer angemessenen Zeit zu ermöglichen. Trotzdem muss sie die relevanten, das Problem beschreibenden Größen berücksichtigen. Das verwendete Lösungsverfahren soll möglichst schnelle Ergebnisse liefern, wofür oft Heuristiken wie genetische Algorithmen oder Simulated Annealing genutzt werden [Ree93].

---

<sup>4</sup>Eine Übersicht über Verfahren findet sich u. a. in [DD95].

Ein ganzheitliches Modell, welches den Themenkomplex des Ressourcenmanagements abdeckt, wie von Rickers [Ric98] dargestellt, ist schwer realisierbar. Wie schon Fiedrich [Fie04] feststellt, ist ein entsprechendes Modell komplex zu modellieren, schwierig zu erweitern und hat dazu noch eine hohe Berechnungskomplexität. Aufgrund dieser Faktoren scheint sein Einsatz für die vorliegende Fragestellung nicht praktikabel. Noch schwerer wiegt, dass die Zielsetzung einer kollaborativen Entscheidungsfindung zwischen Mensch und Maschine sich nicht mit einem geschlossenen Modell vereinbaren lässt. Bei der Entscheidungsunterstützung im Rahmen der Arbeit kommen *OR-Modelle* daher nur für spezifische Teilaufgaben zum Einsatz.

### 4.3.3. Passive Entscheidungsunterstützung

Passive Methoden der Entscheidungsunterstützung helfen dem Entscheidungsträger bei der Entwicklung des kognitiven Abbildes seiner Umwelt, indem die verfügbaren Informationen entsprechend aufbereitet werden [Hae99]. Sie sorgen dafür, dass die Entscheidungen auf einem möglichst vollständigen Lagebild basieren.

Schon der Einsatz einer elektronischen Lösung zur Kommunikation kann den Entscheidungsträger entlasten. Sie ermöglicht ein einfaches Archivieren und Wiederfinden durch Such- und Gruppierungsfunktionen sowohl der versendeten als auch der empfangenen Nachrichten nach verschiedensten Kriterien. Das Verteilen von Nachrichten erfolgt auch über große Distanzen schnell, zuverlässig und nach einem beliebigen Verteilungsschema. Vereinfachen kann dies ein Rollenkonzept der Systemnutzer, welches ein automatisches Zustellen von Nachrichten an alle Inhaber einer Rolle ermöglicht, falls die Nachricht einen bestimmten Typ aufweist oder der Sender eine bestimmte Rolle einnimmt. Ist das Nachrichtenformat entsprechend strukturiert, kann eine Auswertung zum Großteil automatisiert erfolgen. Es ist nicht mehr nötig, manuell Listen der Gebiete, für die Schadensmeldungen vorliegen, zu führen. Auch die Erfassung von Ressourcen und ihres Status kann automatisiert erfolgen. Auch bei der Erstellung von Nachrichten ist Unterstützung möglich, indem dem Entscheidungsträger teilausgefüllte Vorschläge oder vollständige Nachrichten vorlegt werden.

Sind die Daten über Gefahrenbereiche und Ressourcen im System abgelegt, können sie wie Nachrichten beliebig durchsucht und gruppiert werden, was eine schnelle Übersicht über die Lage ermöglicht. Neben der textuellen Form ist eine grafische Darstellung eines Teils dieser Informationen in einer elektronischen Karte möglich. Diese Darstellung, die sogenannten Lagekarte, ist im Zivilschutz ein typisches Hilfsmittel, für das eine vorgeschriebene Symbolik existiert und daher von allen Entscheidungsträgern verstanden wird.

Simulationen bieten dem Entscheidungsträger eine weitere Form der passiven Hilfestellung. Aufgrund von Schadenssimulationen ist eine Abschätzung der Situation in der Katastrophenumwelt möglich, noch bevor umfangreiche Informationen aus realen Beobachtungen verfügbar sind. Durch interaktive Simulationen der Lageentwick-

lung, die den Einsatz von Ressourcen mit einbeziehen, kann der Entscheidungsträger seine mentale Simulation der möglichen Konsequenzen von Handlungsalternativen überprüfen.

#### 4.3.4. Nutzungsoberfläche als Integrationschicht

Die Nutzungsoberfläche des in dieser Forschungsarbeit implementierten *Disaster Management Tools (DMT)*, das *Management Information System (MIS)*, integriert die bereitgestellten passiven und aktiven Hilfestellungen. Dabei orientiert sie sich an den Ideen des *Human-Centered Design* (siehe [Mag01, ISO09]). Dieses stellt beim Design des Systems das Verständnis seiner Anwender, ihre Aufgaben und ihre Umwelt in den Vordergrund. Zukünftige Nutzer sollten interaktiv in den gesamten Design- und Entwicklungsprozess involviert werden. Die Beurteilung des Systems und die darauf aufbauenden Verbesserungen basieren auf den Erfahrungen und den Beurteilungen seiner Anwender und den für diese relevanten Kriterien. Dabei ist ein Designteam vorteilhaft, welches aus Personen unterschiedlicher Bereiche zusammengesetzt ist, die den Untersuchungsgegenstand aus verschiedenen Perspektiven betrachten.

Diesen Anforderungen folgend orientiert sich die Benutzerführung am Modell des Entscheidungsprozesses aus Unterabschnitt 3.4.2. Wie von Grant festgestellt ist OODA als Grundlage für ein Human-Centered Design gut geeignet, da es die Arbeitsweise der Nutzer und die zu unterstützenden Aufgaben angemessen berücksichtigt [GK05]. Die Entwicklung des Systems erfolgte in Zusammenarbeit mit dem rumänischen Zivilschutz, bei dem es außerdem in einer Übung erprobt wurde. Eine Vorstellung fand bei der AKNZ in Deutschland statt. Die Rückmeldungen und Anregungen dieser Nutzergruppen flossen als Verbesserungen ein. Bei der Umsetzung bot das interdisziplinäre Forschungsteam aus Informatikern, Bauingenieuren und Photogrammetrikern die Basis für eine ganzheitliche Betrachtung des Themengebietes.

Durch die Orientierung an einem Entscheidungsprozess, der für den Anwendern vertraut sein sollte, ist diesen Vorgehen des Systems bekannt. Allerdings bekommt er einen Verlauf vorgegeben, der seine Flexibilität bei der Arbeit einschränkt, aber auch strukturiert. Die passiven Hilfestellungen sollen Entscheidern die Grundlage geben, sich mit den aktiven Hilfestellungen konstruktiv auseinanderzusetzen. Die Kooperation zwischen System und Anwender ist das Ziel. Wie bereits erläutert soll der Rechner keine Entscheidungsgewalt übernehmen. Stattdessen muss sichergestellt werden, dass eine gemeinsame Wahrnehmung der Umwelt und der dort vorliegenden Risiken besteht. Basierend auf dieser Lagebeurteilung bewertet das System die Situation und gibt Handlungsempfehlungen, belässt aber die Entscheidung bezüglich der Handlung immer beim Anwender. Die auf reinen Fakten und Regeln basierende Beurteilung ergänzt die intuitive und zu einem gewissen Grad subjektive Beurteilung durch den Menschen.

### 4.3.5. Unscharfe Informationen

Wie erläutert tritt Unschärfe im Kontext dieser Arbeit vor allem aufgrund von unpräzisen und unsicheren Informationen auf. Die Unsicherheit, z. B. bei einer Schadensmeldung durch einen Experten im Zivilschutz, ist gering. Allerdings besitzen nur wenige Personen diese Qualifikation. Daher sind die meisten Meldungen mehr oder minder subjektiv und ungenau. Die unpräzise Kodierung aufgrund verbaler Klassifikation von Eigenschaften und Zuständen ist auch beim Experten nicht zu vermeiden. Da nur eine verbale Repräsentation intuitiv für einen Menschen verständlich ist, muss das System in jedem Fall damit umgehen können.

Für den Umgang mit unsicheren Informationen sind statistische Methoden geeignet. Voraussetzung dafür sind belastbare statistische Daten, z. B. aus Untersuchungen oder Experimenten zum Untersuchungsgegenstand, auf deren Basis sich eine Verteilung bestimmen lässt [Hel94]. Die Charakterisierung von Unsicherheiten anhand von Wahrscheinlichkeitsverteilungen benötigt eine große Menge an Informationen, die selten in angemessener Relation zum Nutzen stehen [JEX10]. So ist ein detailliertes Modell keinen Garant für einen hohen Nutzen. Oft liefert ein einfacheres Modell im realen Einsatz bessere Ergebnisse, da das detailliertere Modell zusätzliche Annahmen trifft und mehr Eingangsparameter erfordert. Aufgrund der Ansprüche an die Quantität und die Qualität der notwendigen Eingangsdaten ergeben sich bei der praktischen Anwendung zum Teil schlechtere Ergebnisse [Hof96, War89]. Im vorliegenden Fall sind belastbare statistische Daten zur Bestimmung von Verteilungen schwierig zu beschaffen. Deshalb und wegen des zweifelhaften Nutzens wurde ein alternatives Vorgehen gewählt.

Unscharfe Informationen lassen sich mathematisch über unscharfe Mengen darstellen - wobei nicht Mengen selbst unscharf sind, sondern die darin enthaltenen Elemente. Die Theorie der sogenannten *Fuzzy-Mengen* ist eine Erweiterung der Mengenlehre, bei der die Konzepte Wohlbestimmtheit und Wohlunterschiedenheit aufgegeben werden. Die gültigen Operationen auf Mengen, Komplementärmenge, Schnittmenge und Vereinigungsmenge bleiben aber erhalten. Historisch geht diese *Fuzzy Logik* zurück auf Zadeh [Zad65]. Ihr Einsatz ist dort besonders hilfreich, wo entweder unscharfe Informationen wie Sprache (semantisch) verarbeitet werden müssen oder komplexe Systeme mit einem akzeptablen zeitlichen und finanziellen Aufwand modelliert werden sollen. Entsprechende Probleme lassen sich zwar auch über probabilistische Methoden abbilden, die Possibilitätstheorie, auf der die Fuzzy Logik basiert, ist wegen ihrer Einfachheit aber eine pragmatische Alternative [BGK99]. Zur Verarbeitung unscharfer Informationen stellt sie Ansätze bereit, um auf Basis praktischer Erfahrung in Bezug auf einen Prozess eine modellfreie Abbildung seiner Zusammenhänge aufzustellen. Mit Wissen und Erfahrung wird eine nutzbare Lösung gesucht, anstatt ein exaktes mathematisches Modell zu entwickeln. Eine mathematische Modellierung gibt einen Sachverhalt zwar mathematisch korrekt wieder, beruht oft aber auf mechanistisch allenfalls plausiblen Annahmen, die nicht bewiesen sind. Im Spannungsfeld der Frage, ob ein unzureichendes mathematisches Modell besser als kein

Modell ist, ist die Fuzzy Logik der praktikable und flexible Mittelweg. Eine Einführung in die Thematik bietet Anhang A. Für den Umgang mit unscharfen Informationen als Teilaspekt der Problemstellung dieser Arbeit stellt die Fuzzy Logik ein bewährtes Konzept dar, welches durch die linguistische Beschreibung der betrachteten Unsicherheiten intuitiv verständlich ist. Dadurch ermöglicht sie die direkte Entwicklung und Verbesserung der Modelle im Dialog mit Experten, ohne komplexe mathematische Zusammenhänge erläutern zu müssen.

#### 4.3.6. Simulation

Ein Simulationsmodell repräsentiert den Zustand eines Systems oder Prozesses zu einem Zeitpunkt sowie die Veränderung dieses Zustandes im zeitlichen Verlauf [CJ04]. Eine Simulation ist die Nachahmung eines Ausschnittes der realen Welt mit dem Ziel, einen zeitlichen Verlauf zu bestimmen und zu beobachten, um daraus Erkenntnisse bezüglich des Verhaltens des abgebildeten Ausschnittes zu entwickeln. Simulationen stellen für viele Fragestellungen ein nicht zu ersetzendes Werkzeug dar, um das Verhalten von Systemen zu beschreiben und besser zu verstehen. Indem sie Was-wäre-wenn-Fragen zu einem realen System beantwortet, kann die Simulation zu dessen Design bzw. seiner Verbesserung beitragen. Dazu muss das betrachtete System nicht existieren, sondern kann sich noch in der Konzeption oder Planung befinden [Ban98]. Auch wenn die reale Beobachtung von Zusammenhängen eine unnötige Gefahr darstellt oder sie sich überhaupt nicht beobachten lassen, ist ein Simulationsmodell hilfreich.

Gerade in der Forschung des Katastrophenmanagements spielen Simulationssysteme eine große Rolle. Eine Simulation der Umwelt kann die Auswirkung physikalischer Phänomene in Form von Schäden an Strukturen wie Gebäuden oder Infrastruktur sowie die Wechselwirkung mit anderen Ereignissen wie Wetter oder Feuer abbilden. Neben einem initialen Szenario ist vor allem die Entwicklung über die Zeit von Interesse. Zusätzlich zu der Wirkung auf Strukturen in der Umwelt ist die Simulation der Interaktion zwischen Objekten relevant, wobei belebte wie unbelebte Elemente berücksichtigt werden können. Um z. B. das Verhalten von Menschenansammlungen bei einer Evakuierung zu modellieren, lässt sich ein *Multiagentensystem (MAS)* (siehe Unterabschnitt 4.3.7) nutzen, welches das Verhalten jedes Individuums als Reaktion auf seine Wahrnehmung der Umwelt berücksichtigt. Ein Einsatz zur Brandbekämpfung kann als Interaktion zwischen einem Simulator für Brände und einem für Löscharbeiten modelliert werden. Die Simulation von Ressourcen ermöglicht es, ihre Effektivität in bestimmten Einsatzszenarien zu prüfen. Die Nutzung von Simulationen ist eine kostengünstige Alternative zu einer Überprüfung in der Realität. Gegebenenfalls ist sie die einzige Möglichkeit, falls sich, wie im Fall eines Katastrophenszenarios, eine Situation in der Realität nicht nachstellen lässt [JM06, RNP<sup>+</sup>04].

Der Detaillierungsgrad der Modellierung einer Simulation hängt stark von ihrer Zielsetzung ab. Werden die Schäden eines Erdbebens in einem Gebiet betrachtet, ist zu-

nächst eine Summe der potenziellen Schäden, die ggf. anhand der Art der Gebäude gruppiert ist, ausreichend. Für eine Simulation der Schäden bzw. Risiken jedes einzelnen Gebäudes ist dagegen ein deutlich detaillierteres Modell notwendig. Gleiches gilt für die Simulation von Ressourcen, die, abhängig vom Detaillierungsgrad, ganz andere Aspekte bei den Simulationsobjekten berücksichtigen muss. Soll die Situation eines einzelnen Feuerwehrmannes bei der Bekämpfung eines Feuers betrachtet werden, sind andere Daten nötig als für eine Prüfung, ob ausreichend Einheiten verfügbar sind, um eine Anzahl von brennenden Gebäuden zu löschen. Um dieses breite Einsatzspektrum zu strukturieren, schlagen McLean, Jain und Lee [MJL08] den Einsatzzweck als Kriterium vor. Es ergeben sich die folgenden Klassen:

- Die Simulation kann ein potenzielles Bild der aktuellen Lage und ihrer möglichen Entwicklung liefern und dadurch als *Entscheidungsunterstützung* dienen. Anhand realer Messungen können Schadensszenarien berechnet werden. Simulatoren für den Einsatz von Ressourcen, die mit anderen Simulatoren der Umwelt interagieren, ermöglichen Prognosen der Lageentwicklung. Darauf basierend lassen sich Einsatzszenarien der Ressourcen untersuchen und Handlungsalternativen bewerten. Dies ergänzt die Wahrnehmung des Anwenders um eine zusätzliche Informationsquelle. Die Bewertung von Handlungsoptionen kann außerdem die Entscheidungsfindung direkt unterstützen.
- Je nach *Hierarchieebene und Domäne*, für die eine Simulation eingesetzt wird, ergeben sich verschiedene Anforderungen an die Modellierung. Auf der *Planungsebene* lässt sich unterscheiden, ob Situationen aus strategischer, taktischer oder operativer Sicht simuliert werden. Dies wirkt sich primär auf den Detailgrad der Simulation bzw. die Aggregation ihrer Ergebnisse aus (vgl. [LOM10]). Abhängig von der Planungsebene wird z. B. jede einzelne Feuerwehreinheit oder der Verband im Ganzen simuliert. Die *Domäne* legt den Verantwortungsbereich fest, der in der Simulation betrachtet wird, und damit, was in welchem Detailgrad abzubilden ist.
- Eine Simulation kann als *intelligentes Werkzeug der Risikoanalyse* dienen. Aus einem Modell, welches die Umwelt und ihre Entwicklung abbildet, ergibt sich ein Soll. Weicht die Realität signifikant von diesem ab, ist dies ein Indikator bzw. Warnsignal. Anhand dieses Vorgehens kann ein Analysewerkzeug z. B. bestimmen, ob ein Anstieg der Anzahl von Patienten mit bestimmten Symptomen auf eine Epidemie hindeutet. Für ein Hochwassers lassen sich anhand von Pegelmessungen flussaufwärts die Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten verschiedener Schadensszenarien vorhersagen.<sup>5</sup> Die Prognose der Entwicklung einer Situation führt auch zu deren Risikobewertung. So ergibt sich aus der Simulation der Brandausbreitung in einem Gebäude auch das Risiko für die Ausbreitung auf Nachbargebäude. Durch die Kombination von Simulationen der Einsatzressourcen können Engpässe bei der Bewältigung identifiziert und

---

<sup>5</sup>Weitere Details zum Thema Warning Decision Support System (WDSS) finden sich in [LSSH07, WDS16].

Vulnerabilitäten aufgedeckt werden.

- In Form der *Systemanalyse* unterstützen Simulationen bei der Neuentwicklung und Optimierung von Systemen. Dazu werden sie bei der Anforderungsanalyse, der Bewertung von Alternativen und der Prototypenentwicklung eingesetzt. Sie stellen eine virtuelle Umgebung des zu entwickelnden Systems bereit und machen es dadurch test- und prüfbar.
- Im militärischen Bereich wird die kostengünstige und gefahrlose Möglichkeit der *Schulung und Leistungsmessung* von Personal mithilfe von Simulationen bereits seit Langem praktiziert. Da sich die Führung im Katastrophenmanagement an militärischen Strukturen orientiert, lassen sich die Erkenntnisse von dort übertragen (siehe [JM06, RNP<sup>+</sup>04]). Die Situationsbewertung, die Entscheidungsfindung und das Handeln lassen sich anhand virtueller Szenarien trainieren. Ebenfalls möglich ist, zu überprüfen, wie gut Individuen oder ein Team auf ein vorgegebenes Szenario vorbereitet sind. Neben den Einsatzkräften kann eine Simulation außerdem Systeme und Ausrüstung auf ihre Einsatztauglichkeit hin testen.
- Eine Simulation muss nicht fest in ein System integriert und einem Einsatzzweck zugeordnet sein. Sie kann auch als *Komponente* konzipiert werden, die sich in unterschiedliche Systeme integrieren lässt. Allein lauffähige Simulationen können als Elemente eines größeren Systems dienen. Im Rahmen dieser Arbeit stellt die Erdbebensimulation EQSIM [FLMS04] sowohl eine für sich stehende Simulation als auch eine Komponente der Simulationsumgebung des DMT dar.

Eine Zielsetzung des DMT ist, dass die bereitgestellte Unterstützung den Katastrophenzyklus möglichst gut abdeckt. Es wurde daher untersucht, wo und wie hierfür Simulationen zum Einsatz kommen können (vgl. [JM06]).

Vergleiche von Sollwerten und Entwicklungsprognosen können im Rahmen der *Vorbeugung* bei der Überwachung und der frühzeitigen Erkennung von Ereignissen unterstützen. Risikoanalysen auf Basis von Simulationen ermöglichen eine Bewertung der Vulnerabilität. Funktionen zur Vulnerabilitätsanalyse stellt z. B. das von der *Federal Emergency Management Agency (FEMA)* entwickelte System *HAZUS* bereit, welches Überflutungen, Hurrikans, Sturmfluten und Erdbebenereignisse berücksichtigt [FEM11, HAZ16]. Die verwendeten Modelle ermöglichen Aussagen zu den Auswirkungen einer Naturkatastrophe. Ziel ist die Vorbereitung zu unterstützen, indem z. B. Maßnahmen auf Basis der zu erwartenden Schäden im Voraus geplant werden. Eine Simulation von möglichen Handlungen oder Einsatzplänen ist nicht vorgesehen, allerdings können risikomindernde Maßnahmen auf ihre Wirksamkeit geprüft werden. In der *Vorbereitungsphase* können Simulationen bei der Planung unterstützen sowie zur Schulung und Leistungsmessung eingesetzt werden. In der Planung lässt sich anhand von Simulationen bewerten, wie schnell eine Organisation auf eine gegebene Lage reagieren kann, wie gut sie auf ihre Bewältigung vorbereitet ist und welchen Beitrag die verschiedenen Ressourcen leisten könnten [LOM10]. Auch

die Wirksamkeit von Verbesserungsmaßnahmen der Bereitschaft, z. B. in Form einer Bereitstellung zusätzlicher Einsatzkräfte, kann geprüft werden.<sup>6</sup> Während der *Bewältigung* kann eine Simulation die Entscheidungsfindung unterstützen, indem sie die Auswirkungen eines Ereignisses sowie seine mögliche Entwicklung darstellt. Neue Fakten, die sich aus eingehenden realen Meldungen ergeben, helfen dabei, die Qualität einer solchen Prognose stetig zu verbessern. Die Simulation von Ressourcen in Kombination mit der Prognose der Entwicklung von Gefahren erlaubt die Bewertung von Handlungsoptionen. In der *Wiederherstellungsphase* können anhand eines Simulationsmodells die langfristigen Auswirkungen verschiedener Wiederherstellungsmaßnahmen geprüft und bewertet werden.

Es existieren eine Vielzahl meist unabhängig voneinander entwickelter Simulationsmodelle. Agentenbasierte Systeme gibt u. a. für Erdbeben [Fie06, TKT<sup>+</sup>00], Wald- und Buschfeuer [JGW01] sowie Hochwasser [MB03]. Eine Kopplung dieser Lösungen ist in ihren aktuellen Umsetzungen kaum möglich. Dabei würde die Möglichkeit einer Integration unterschiedlicher Systeme die Entwicklung komplexerer Simulationsmodelle deutlich vereinfachen. Ein wichtiger Schritt zur Interoperabilität solcher Systeme ist die Verfügbarkeit und Nutzung von Standards. Nötig wäre eine Standardisierung des Datenaustausches, der Architektur und der Interaktion zwischen verschiedenen Modellen [JM04, MJL08]. Auch wenn die Schaffung von Standards nicht im Fokus dieser Arbeit steht, ist das implementierte System ein Beleg dafür, wie eine offene und interoperable Systemarchitektur die Wiederverwendung von Simulationsmodellen in unterschiedlichsten Gefahrenlagen ermöglicht.

### 4.3.7. Agenten

Zur prototypischen Umsetzung der vorgestellten Ansätze im *Disaster Management Tool (DMT)* wurde eine agentenbasierte Systemarchitektur gewählt. Der Begriff Agent taucht in einer Vielzahl unterschiedlicher Anwendungsbereiche auf. In der realen Welt gibt es z. B. menschliche Agenten bei Versicherungen oder auch im Geheimdienst. Nicht menschliche Agenten können ebenfalls eine physische Präsenz aufweisen, wie bestimmte Roboter oder auch keine wie Software-Agenten, deren Präsenz auf Rechner beschränkt ist. Außerdem spricht man im Zusammenhang mit künstlichem Leben, welches nur innerhalb einer künstlichen Umwelt im Computer existiert, ebenfalls von Agenten. Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf Software-Agenten, genauer gesagt auf sogenannte *Multiagentensysteme (MAS)*. Diese haben ihren Ursprung in der Forschung zur verteilten künstlichen Intelligenz (KI). Ausgehend davon haben sich Agenten- bzw. Multiagentensysteme zu einer unabhängigen Forschungsrichtung weiterentwickelt, bei der die KI-Forschung nur noch einen Teilaspekt der Anforderungen und Komplexität abbildet.

---

<sup>6</sup>Beispiele für den Einsatz von Simulationen in der Planung oder Schulung liefern [Map] bzw. [Vir16].

### 4.3.7.1. Grundlagen

Als Softwareagenten werden Computerprogramme bezeichnet, die autonom eine zuvor definierte Zielsetzung verfolgen und dabei ihre reale oder virtuelle Umwelt wahrnehmen, mit ihr interagieren und sie dadurch verändern können. Ausgangspunkt ist meist eine komplexe und dynamische Umwelt, die mit Sensoren erfasst und durch Aktoren verändert werden kann. Von einem normalen Programm grenzt sich ein Agent dadurch ab, dass er mit Sensoren und Aktoren als direkten Schnittstellen autonom in einer Umwelt agiert. Ein Agent kann durchaus Programme enthalten oder aus anderen Agenten bestehen, ein Programm kann allerdings nicht aus Agenten bestehen. Abhängig von der Problemstellung kann ein Agent oder es können auch mehrere Agenten zum Einsatz kommen. Ein Multiagentensystem besteht aus einer Sammlung von autonomen Agenten, die in einer gemeinsamen Umwelt agieren und dabei mehr oder weniger stark miteinander interagieren. Unterschieden wird zwischen *diskreten (discrete)* Agenten, die nicht untereinander kommunizieren, und den *vollständig verbundenen (fully connected)* Systemen, in denen jeder Agent mit jedem anderen in Verbindung steht. Von *Entscheidungsunterstützungssystemen (EUS)* lassen sich Software-Agenten insofern abgrenzen, als ein EUS sich weder seiner Umwelt bewusst sein noch sie aktiv wahrnehmen muss. Meist wartet es mit seinen Handlungen auf die Anfragen eines Anwenders. Ein EUS kann aber natürlich aus Software-Agenten aufgebaut sein.<sup>7</sup> Formal lässt sich ein Agent mit seiner Interaktion in der Umwelt wie folgt beschreiben:

*Sei  $E$  eine Umwelt und  $E(t)$  der Zustand der Umwelt zu einem Zeitpunkt  $t$ .*

*Sei  $X$  die Menge aller Zustände mit  $E(t) \in X$  und  $T : X \rightarrow X$  die Menge der möglichen Regeln für die Veränderung der Umwelt.*

*Die Handlungen  $A$  des Agenten (bzw.  $A_j$  für einen Agenten  $j$  in einem MAS) und die Umweltfaktoren  $P$  haben Einfluss auf die Veränderungen von  $X$  weshalb gilt  $T = (A_{1..n} \cup P)$ . Die Handlungen des Agenten lassen sich somit anhand ihres Einflusses auf  $T$  beschreiben.*

*Die Wahrnehmung  $S$  eines Agenten  $j$  lässt sich als  $S(j, t) = W_j(E(t))$  beschreiben, wobei  $W_j$  die Wahrnehmungsfähigkeit des Agenten darstellt.*

*Ein Agent handelt aufgrund von Zielen oder Motiven  $G_j$  die unterschiedlich repräsentiert sein können. Um diese zu erreichen, wählt er, abhängig von seiner Wahrnehmung, mithilfe seiner Selektionsmechanismen  $I_j$  seine Handlungen aus  $A_j$ . Die Menge der Handlungen eines Agenten, die zu einem Zeitpunkt  $t$  möglich sind, ist somit  $A_j(t) = I_j(S(j, t), G_j)$ .*

In der theoretischen Betrachtung der Software-Agenten ist die Bandbreite der Interpretationen groß, was ein Agent ist und welche Eigenschaften er hat. Burkhard [Bur00] gibt eine Übersicht über die möglichen Eigenschaften und Nwana [Nwa96]

<sup>7</sup>Für weitere Details zu dem Thema Agenten bzw. Multiagentensysteme siehe [Woo02, RN04, FG97, CDJT99].

betrachtet Kriterien für die Klassifikation von Agenten. Für die Arbeit relevante Aspekte werden im Weiteren erläutert. Die *Autonomie*, also die Fähigkeit, selbst zu entscheiden, ob eine Handlung durchgeführt wird, sowie die *Interaktion* mit der Umwelt gehören zu den wichtigsten Eigenschaften von Agenten. Außerdem sind sie *persistent*, laufen also dauerhaft, anstatt nur auf Anfragen zu reagieren. Daher agieren Agenten *aktiv* bzw. bieten ihre Dienste an, sobald sie es aufgrund ihrer Ziele für sinnvoll erachten. Sie sind im Hinblick auf eine spezifische Umwelt modelliert und können nur in dieser sinnvoll agieren. Um ihre Ziele zu verfolgen, sind Agenten *flexibel*. Sie besitzen die Fähigkeit, je nach Anforderung der Situation *reaktiv* oder *proaktiv* sowie *sozial* zu handeln. Reaktiv ist ein Agent, wenn er nur auf Grundlage einer Wahrnehmung aus der Umwelt agiert. Handelt er vorausplanend mit dem Zweck der bewussten Beeinflussung seiner Umwelt, agiert er auf proaktive Weise. Dies setzt ein internes Modell des Agenten voraus, welches es ihm erlaubt, logische Schlüsse aus den Gegebenheiten in der Umwelt zu ziehen. In diesem Fall spricht man auch von einem *deliberativen* (wissensbasierten) Agenten [Mai13, CDJT99].

Die sozialen Fähigkeiten, die sich auf andere Agenten und Menschen beziehen können, beinhalten drei Aspekte: die Fähigkeit zur *Kooperation* in einem Team und zu *Verhandlungen* mit einer Gegenseite mit abweichenden Interessen, um eine von allen Parteien akzeptierte Lösung zu finden, sowie die *Koordination* von Abhängigkeiten zwischen Aktivitäten, wie z. B. einer gemeinsame Nutzung von Ressourcen. Bei sozialer Interaktion zwischen Agenten kommt eine speziell definierte Sprache zum Einsatz. Um einen Menschen bei der Erfüllung einer Aufgabe zu unterstützen oder diese von ihm zu übernehmen, ist Kollaboration mit ihm notwendig. Bei dieser Interaktion sind das Vertrauen des Menschen zum Agenten und eine eindeutige Sprache zur Minimierung von Kommunikationsfehlern entscheidend.

Das Konzept von Agenten ist in der Softwareentwicklung ein wirksames Instrument zur Bewältigung von Komplexität. Die Idee der Zerlegung in möglichst unabhängige Teilelemente ermöglicht die *Dekomposition* eines komplexen Sachverhaltes. Die Modellierung dieser Elemente erfolgt im Hinblick auf ihr *Wissen* und ihre *Soziabilität*, also deren Interaktion mit der Umwelt und anderen Agenten. Dies ermöglicht bei der Darstellung eine *Abstraktion* von fachlichen und technischen Details (siehe [WJ06]). Hinsichtlich der *Strukturierung*, also der Dokumentation und Definition von Beziehungen und Wechselwirkungen zwischen den Elementen, hat das Konzept des Agenten vielfältige Möglichkeiten von Client-Server- bis hin zu Peer-to-Peer-Strukturen. Entkopplung und Autonomie der Elemente ermöglichen ihre *Wiederverwendung* in gleicher oder ähnlicher Umwelt. Dabei eignen sich Softwareagenten vor allem für Anwendungen, die in ein dynamisches und komplexes Umfeld *eingebettet* sind und in diesem *verteilt* und *offen* agieren müssen. Die Verteilung bezieht sich auf die räumliche und die logische Dimension von Daten, Informationen und Wissen. Offenheit resultiert daraus, dass das Umfeld, in dem die Anwendung agieren soll, im Vorfeld nicht genau bestimmt werden kann. Alle drei Punkte treffen auf die Problemstellung dieser Arbeit zu.

Agentensysteme werden erfolgreich in den verschiedensten Domänen, z. B. dem Elec-

tronic Commerce, sowie für die unterschiedlichsten Aufgaben, z. B. in der Informationssammlung und -verarbeitung oder der Simulation, eingesetzt [SN04, RDPJ07]. Im Umfeld der künstlichen Intelligenz finden Agenten Anwendung bei der Simulation und Koordination des kollaborativen Verhaltens in verteilten Systemen und komplexen Organisationen. Dies sind Problemstellungen, die auch in der Katastrophenbewältigung eine wichtige Rolle spielen. Agentenbasierte Systeme können in allen Phasen des Katastrophenzyklus (siehe Abschnitt 2.2) unterstützen.

#### 4.3.7.2. Agenten im DMT

Das Konzept der Softwareagenten ist das zentrale Paradigma des in dieser Arbeit umgesetzten Prototyps DMT. Es dient der Strukturierung und der Dekomposition der Systemarchitektur in ihre Teilelemente. Der modulare Aufbau des Systems ermöglicht eine leichte Austausch- und Wiederverwendbarkeit seiner Komponenten. Alle Systemkomponenten agieren als Verbund in einem MAS. Simulation hat hierbei eine Sonderstellung, da sie die einzige Komponente der in das MAS eingebundenen Agenten zur Entscheidungsunterstützung ist, die intern in Form eines eigenständigen MAS zur Simulation der Katastrophenumwelt aufgebaut ist.

Die Simulation ermöglicht es, ein Katastrophenszenario inklusive der Arbeit von Einsatzkräften und Einsatzleitung abzubilden [Fie06]. Dafür kommen reaktive Agenten zum Einsatz. Sie reagieren auf externen Input aus der Umwelt, welchen sie über ihre Sensoren wahrnehmen, und agieren daraufhin anhand vorgegebener Handlungsanweisungen. Die Simulation des Löschens eines Brandes stellt z. B. eine Interaktion zwischen den Simulationsagenten für Feuerwehreinheiten mit denen für Gebäudebrände dar [Fie04]. Für die Simulation der Entscheidungsträger einer Einsatzleitung und die Entscheidungsunterstützung kommen deliberative Agenten nach dem *BDI-Modell* zum Einsatz. Das Modell ähnelt dem in Kapitel 3 vorgestellten Prozessmodell und basiert auf der Betrachtung der menschlichen Entscheidungsfindung [Bra87]; *BDI* steht dabei für *Überzeugung (Beliefs)*, *Wünsche (Desires)* und *Absichten (Intentions)*. Ausgangspunkt ist ein symbolisches Modell, das die Agenten von ihrer Umwelt haben. Anhand der Auswertung seiner Sensordaten ermittelt jeder Agent Fakten, welche die aktuelle Situation beschreiben sollen. Da die Fakten auf einer ggf. eingeschränkten Wahrnehmung des Agenten basieren, können sie durchaus unvollständig oder sogar falsch sein. In Verbindung mit ihrem Wissen treffen BDI-Agenten Schlussfolgerungen, deren Ergebnis aus drei Teilen besteht [RGO95]:

- Aus den Fakten wird die *Überzeugung* hinsichtlich des aktuellen Zustandes der Umwelt abgeleitet. Sind Fakten unvollständig, kann der Agent sie durch Interpolation oder Schlussfolgerungen ergänzen. Für diese Auswertungen werden *Regeln (Rules)* genutzt. In den Überzeugungen enthalten sein können Erwartungen bezüglich der Veränderung von Fakten in der Zukunft.
- Die aktuellen *Ziele (Goals)*, die ein Agent erreichen kann, sind eine Untermenge der *Wünsche*, die er erreichen möchte. Ziele sind die aufgrund der aktuellen

Überzeugung verfolgten Wünsche. Sie enthalten keine Aussage darüber, wie sie erreicht werden können. Ziele können allerdings hierarchisch strukturiert sein, sodass sich der Agent über mehrere Unterziele einem Hauptziel annähert. Abhängig von der Situation können sich Zielsetzungen ändern, falls sie unter den gegebenen Umständen nicht erreicht werden können.

- Die *Absichten* eines Agenten ergeben sich aus seinen aktuellen Zielen und Überzeugungen. Sie stellen die eigentlichen Handlungen aufgrund eines *Plans* (*Plans*) dar, den ein Agent verfolgt, um sein Ziel zu erreichen. Ein Plan kann anhand von Fakten angepasst bzw. parametrisiert werden. Ebenso können Pläne hierarchisch strukturiert sein und sich in mehrere Unterpläne gliedern. Pläne resultieren in *Handlungen* (*Actions*), die der Agent in seiner Umwelt umsetzt.

Entscheidende Elemente deliberativer BDI-Agenten sind ihr symbolisches Modell der Umwelt sowie die Fähigkeit, aus diesem und den verfügbaren Fakten Schlussfolgerungen zu ziehen. Dies macht sie zu wissensbasierten Systemen. Die Modellierung des Wissens und das Vorgehen bei den Schlussfolgerungen entspricht dem eines regelbasierten Expertensystems, wie es in Unterunterabschnitt 4.3.2.1 vorgestellt wird. Die Agenten zur Entscheidungsunterstützung im DMT weisen mit ihrer Fakten- und Wissensbasis, der Inferenzkomponente, einer Benutzungsschnittstelle mit Erklärungen sowie der Möglichkeit, das Wissen zu erweitern, die Elemente eines wissensbasierten Systems auf. Zusätzlich zu einem Expertensystem agieren sie proaktiv, indem sie selbstständig Ratschläge und Hilfestellungen präsentieren, die sie anhand ihrer Wahrnehmungen der Umwelt im Dialog mit dem menschlichen Anwender anpassen.

Die Simulationsagenten des DMT sind nur in der restriktiven, simulierten Umwelt einsetzbar. Sie kollaborieren lediglich mit anderen Simulationsagenten. Sensorik und Regelbasis der BDI-Agenten für die aktive Entscheidungsunterstützung sind deutlich flexibler und machen sie in einer realen Umwelt handlungsfähig. Sie sind dabei auf das kollaborative Arbeiten und Agieren mit menschlichen Nutzern ausgelegt.



## 5. Modellbildung

Das in dieser Arbeit realisierte Multiagentensystem soll Personen eines operativ-taktischen Führungsstabes bei der Bewältigung von Erdbebenkatastrophen unterstützen. Die bereitgestellten Hilfestellungen sind in ein Modell des Entscheidungsprozesses potenzieller Nutzer integriert. Das entwickelte System lässt sich in die in Abbildung 5.1 dargestellten Komponenten aufteilen.

Wie bereits erwähnt dient die Bezeichnung *Disaster Management Tool (DMT)*, als Oberbegriff für das Gesamtsystem, welches unter anderem aus einer Komponente zur Nutzerinteraktion, dem *Management Information System (MIS)*, besteht. Diese bettet die Hilfestellungen der Entscheidungsunterstützung in eine Oberfläche zur Darstellung und Verwaltung von Fakten und Meldungen aus dem Einsatzgebiet ein. Die Entscheidungsunterstützung wird durch die *ADVISOR-Agenten* bereitgestellt. Die bereitgestellten Hilfestellungen orientieren sich an dem in Unterabschnitt 3.4.2 beschriebenen Entscheidungsprozess. Um menschliche Entscheider möglichst optimal zu unterstützen, werden Methoden zur Verarbeitung unscharfer Daten, Verfahren des logischen Schließens sowie Prognosemethoden kombiniert. Abhängig von den verantworteten Ressourcen und Schadensquellen kommen spezialisierte Instanzen der *ADVISOR-Agenten* zum Einsatz. Weitere Unterstützung bietet die Simulationsumgebung *DMT-SIM*. Sie beinhaltet ein *Multiagentensystem (MAS)* mit Simulatoren für Ressourcen und Schäden, die eine dynamische Lageentwicklung abbilden, sowie den Erdbebensimulator *EQSIM*, der ein statisches Schadensbild auf Basis physikalischer Eingabeparameter liefert. Alle Komponenten des DMT nutzen eine einheitlich aufgebaute *Datenbasis*, in der die ihnen jeweils bekannten Informationen abgelegt sind. Ihr Hauptbestandteil ist die *Faktenbasis* als Teil der *Fakten- und Wissensbasis*, einer portablen Persistenz für Daten und Regeln inklusive einer Komponente zu deren Auswertung. Die Formate zum Datenaustausch wurden im Hinblick auf Interoperabilität definiert und sollen eine möglichst einfache Anbindung weiterer Komponenten sowie externer Systeme ermöglichen. Sie sind unter der *Information Exchange Specification (IXS)* zusammengefasst.

Um eine optimale Zusammenarbeit der Komponenten des DMT sicherzustellen, nutzen diese eine einheitliche Modellierung für Datenbasis, -austausch und -verarbeitung, unabhängig davon, ob sie der Lagedarstellung, der Entscheidungsunterstützung oder der Simulation dienen. Dies vereinfacht den Informationsaustausch und spart Implementierungsaufwand, da eine Wiederverwendung von Programmcode möglich ist. Das einheitliche Format für den Datenaustausch stellt die syntaktische Interoperabilität der Komponenten sicher. Für die semantische Interoperabilität ist ein einheitli-

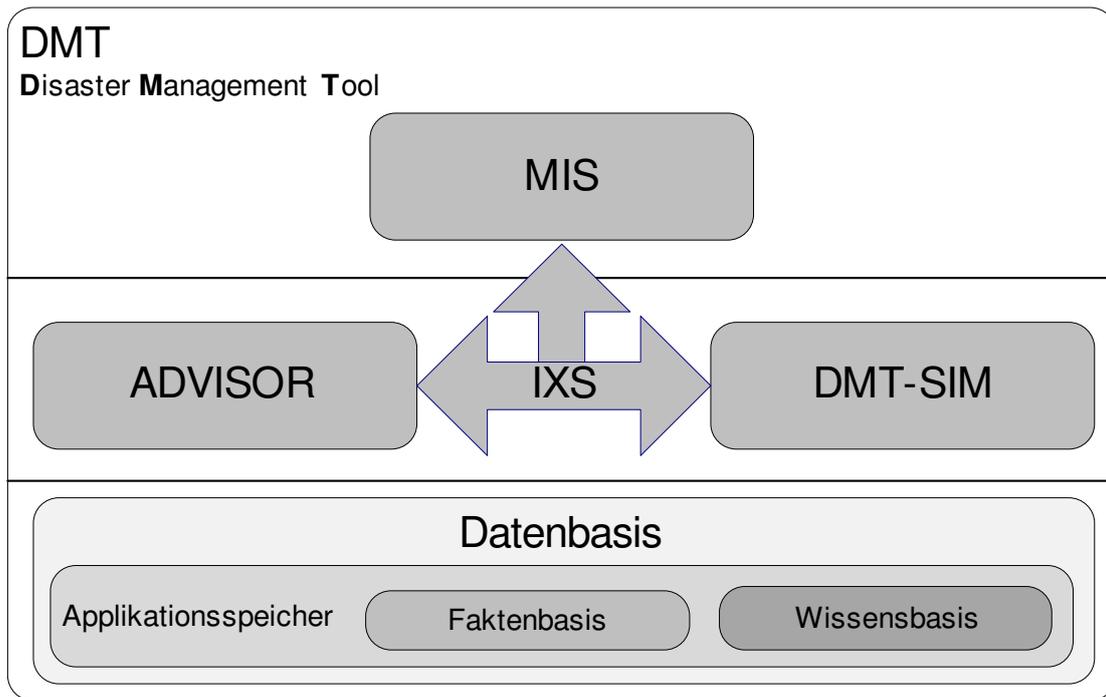


Abbildung 5.1.: Komponenten des DMT

ches Verständnis, der Bedeutung der Daten nötig. Diese wird durch gleiche Strukturen im Datenmodell und bei der Datenverarbeitung erreicht [HH00]. Die Grundlagen dazu schafft das nachfolgende Kapitel, welches das Datenmodell des DMT erläutert. Die abgelegten Informationen werden zunächst formal modelliert. Darauf aufbauend wird in Abschnitt 5.5 die Umsetzung dieses Modells in der Fakten- und Wissensbasis dargestellt. Deren Aufbau und Struktur lässt sich in Form einer textuellen Notation beschreiben, die auch bei der Erläuterung der Entscheidungsunterstützung in den folgenden Kapiteln verwendet wird. Schwerpunkt der Ausführungen sind daher auch die für die Entscheidungsunterstützung relevanten Daten.<sup>1</sup> Zur Trennung zwischen Modell und Implementierung wird in diesem und den folgenden Kapiteln von der konkreten technischen Realisierung abstrahiert. Diese wird in Kapitel 9 beschrieben.

## 5.1. Schaden, Gefahr und Risiko

Zum Verständnis der Modelle ist eine Erläuterung der Verwendung der Begriffe *Gefahr* (*hazard*) und *Risiko* (*risk*) nötig, denn es können signifikante Unterschiede hinsichtlich ihrer Bedeutung bestehen [BUHB09]. Das Begriffsverständnis in der vorliegenden Arbeit stützt sich auf zwei zum Teil komplementäre Sichtweisen.

<sup>1</sup>Erweiterungen im Datenmodell für das MIS und die DMT-SIM sind nur soweit erläutert, wie sie für das Verständnis der Arbeitsweise der ADVISOR-Agenten relevant sind.

Kaplan und Garrick [KG81] definieren das Risiko mathematisch anhand eines Szenarios als  $R = \{s_i, p_i, x_i\}, i = 1, 2, \dots, N$ , wobei  $s_i$  das Szenario ist, welches das Risiko auslöst. Beispiele dafür sind ein Feuer oder ein Gebäudeeinsturz. Hierbei ist  $p_i$  die *Eintrittswahrscheinlichkeit* eines Ereignisses und  $x_i$  sein möglicher *Schadensumfang*. Der Umfang eines Risikos ergibt sich somit aus seiner Eintrittswahrscheinlichkeit und dem potenziellen Schadensumfang. Im Bereich des gesundheitlichen Verbraucherschutzes oder auch der Krebsforschung sind die Exposition und das Gefährdungspotenzial ausschlaggebend. Eine Gefahr wird aus dieser Sichtweise zum Risiko, wenn gegenüber betroffenen Subjekten ein ausreichendes Gefährdungspotenzial und eine Exposition besteht.

Im Rahmen dieser Arbeit wird eine *Gefahr* bzw. ein *Gefahrenpotenzial* definiert als ein Ereignis in der Katastrophenumwelt, welches bereits Teil eines Risikos ist bzw. zum Risiko werden kann. Mit Blick auf die unterschiedlichen Arten von Gefahren wird von *Gefahrentypen* gesprochen. Ein Gebäudeeinsturz ist z. B. eine Gefahr, deren Risiko von der Eintrittswahrscheinlichkeit und dem Umfang, aber vor allem von der Exposition abhängt. Einer Gefahr zugrunde liegt ein *Schaden*, der einen Schadensumfang und eine Eintrittswahrscheinlichkeit aufweist. Eine Gefahr lässt sich definieren als  $G = \{d_i, p_i\}, i = 1, 2, \dots, N$ , bestehend aus dem Schadensumfang  $d_i$  und der Wahrscheinlichkeit bzw. Glaubwürdigkeit seines Vorhandenseins  $p_i$ . Der Bereich, in dem die Gefahr vorliegt, wird als *Gefahrenbereich* bezeichnet. Zum Risiko wird die Gefahr, wenn die Möglichkeit besteht, bei einer Instanz eines Umweltobjektes Schaden zu erzeugen. Im Weiteren wird hierbei vom *Schadenspotenzial* gesprochen. Als Instanzen werden sowohl lebende Subjekte, wie Personen oder Einsatzkräfte, als auch unbelebte Objekte, wie Einsatzmittel oder Besitztümer, angesehen. Daraus ergibt sich die Definition für Risiken  $R = \{d_i, p_i, e_i\}, i = 1, 2, \dots, N$ , wobei  $e_i$  das Schadenspotenziale aufgrund der Exposition der jeweiligen Instanz darstellt.

## 5.2. Informationsaustausch

Für eine Interoperabilität mit anderen Systemen ist ein gemeinsames Datenformat für und Verständnis für auszutauschende Informationen entscheidend. Im DMT kommt mit XML sowie XML-Schema ein verbreitetes Datenformat samt Beschreibungssprache zum Einsatz. Das hier beschriebene Modell ist daher nicht frei spezifiziert, sondern orientiert sich an bereits vorhandenen Formatspezifikationen aus dem Bereich des Katastrophenschutzes. Im Detail sind diese Aspekte in Kapitel 4 und Kapitel 9 erläutert.

Die im IXS definierten Formate lassen sich anhand ihrer Verwendung gliedern in solche für die interne Kommunikation, also zur Steuerung von Systemkomponenten (*System Control*), andere für den Austausch von Systemzuständen (*Information Exchange*) sowie jene für den öffentlichen Informationsaustausch im Rahmen des Meldewesens eines Katastrophenstabes (*Messaging*). Bei der internen Kommunikation

wird durch eine Steuernachricht z. B. eine Simulation der Lageentwicklung angefordert. Daten zur Lage werden dazu in Form des in Abschnitt 5.3 dargestellten Modells an die Simulationsumgebung DMT-SIM übergeben. Deren technische Umsetzung erläutert Abschnitt 9.4. Das Format zum öffentlichen Informationsaustausch bildet das papierbasierte Meldewesen zwischen Ressourcen, anderen Organisationseinheiten und dem Führungsstab in elektronischer Form ab (siehe Unterabschnitt 2.1.2). Unter anderem werden Beobachtungen bezüglich der Katastrophenumwelt oder Zustandsänderungen von Ressourcen ausgetauscht. Zur Strukturierung der Informationen sind, abhängig vom Inhalt, verschiedene Nachrichtentypen spezifiziert, über die Abbildung 5.2 eine Übersicht liefert.

### 5.2.1. DMT-Message

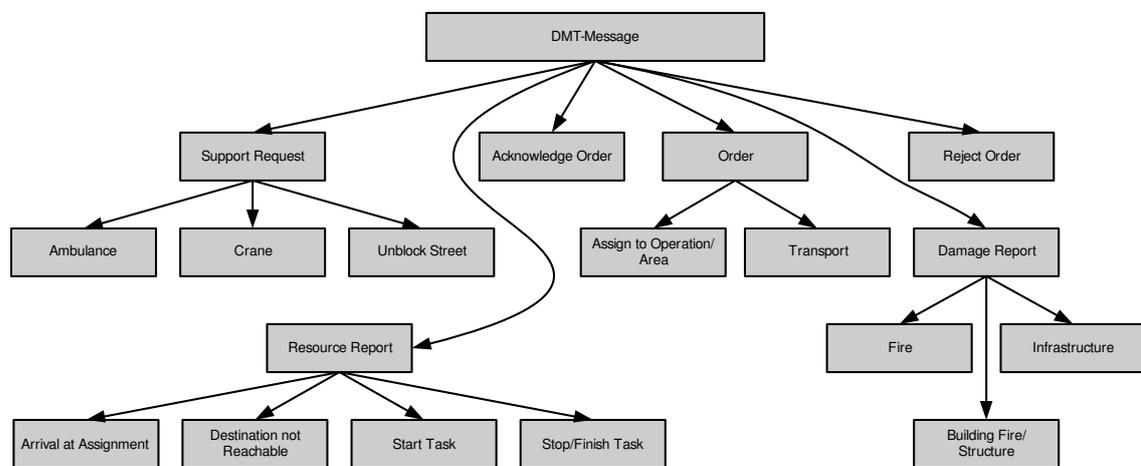


Abbildung 5.2.: Struktur des DMT-Message-Formates

Das Nachrichtenformat zum öffentlichen Informationsaustausch ist hierarchisch gegliedert. Nachrichtentypen auf tiefer liegenden Ebenen übernehmen die Attribute ihrer Väter. Abbildung 5.2 stellt seine Struktur dar. Der Typ *DMT-Message* ist die Wurzel und damit die gemeinsame Basis aller Nachrichten. Seine Attribute sind die Grundmenge für alle anderen Nachrichtentypen, außerdem kann er für Textnachrichten ohne spezifischen Inhalt verwendet werden. Enthalten sind die typischen Elemente einer E-Mail wie Betreff, Empfängerliste, Absenderadresse und Versanddatum. Ergänzt wird dies durch eine vierstufige Klassifikation der Dringlichkeit (*routine*, *priority*, *immediate* und *flash*) sowie eine Klassifikation, in welchem Rahmen sie versendet werden soll (*actual*, *exercise* und *simulation*). Jede Nachricht enthält mit *Message-Id* eine eindeutige Identifikation. Sie wird gebildet anhand des eindeutigen Bezeichners des sendenden Objektes (vgl. Unterabschnitt 5.3.1) sowie einer fortlaufenden Nummer für jede versendete Nachricht. Die *Message-Id* dient u. a. als Referenz bei einer Antwort auf die ursprüngliche Nachricht. Ein optionales Feld ist die Szenario-Id, die notwendig ist, um Nachrichten aus den Simulationskomponenten

einem Simulationsszenario zuzuordnen. Damit lassen sich die Ergebnisse mehrerer gleichzeitig ablaufender Simulationen unterscheiden. Informationen aus Quellen, die nicht direkt an das System angebunden sind, wie z. B. Anrufe von Zivilisten, stellen Disponenten in das System ein. Textuelle Nachrichteninhalte sowie der Betreff werden als Freitext gespeichert. Der Nachrichteninhalt in Textform kann als Ergänzung zu den in den verschiedenen Nachrichtentypen vorgesehenen Beschreibungsfeldern genutzt werden. Er sollte allerdings nicht als alleiniger Informationsträger für entscheidende Fakten dienen, um eine durchgängige elektronische Verarbeitung sicherstellen zu können. Als Nachrichtentypen sind Schadensmeldung (*DamageReport*), Befehlsnachricht (*Order*), Ressourcen-Meldungen (*ResourceReport*) sowie Unterstützungsanfrage (*SupportRequest*) vorgesehen.

### 5.2.2. Schadensmeldung

Ein *DamageReport* informiert über den Zustand eines *Gefahrenbereiches*. Er ist an eine Ortsangabe gebunden, wie Gebäude oder Straßenabschnitt, in welchem sich die Gefahr befindet. Abhängig von dem Gefahrentyp können in der Meldung Beschreibungen für das Schadensbild gegeben werden. Meldungen bezüglich struktureller Gebäudeschäden (*DamageReportBuilding*), Straßenschäden (*DamageReportInfra* bzw. *DamageReportBlock*), Bränden (*DamageReportFire*) und Personenschäden (*DamageReportHumanCasualties*) sind vorgesehen.

Ein Strukturschaden an einem Gebäude wird anhand von *Schadensklassen* (*Damage States (DS)*) beschrieben, die an der HAZUS-Methodologie [FEM99] angelehnt sind. Unterschieden wird zwischen *not damaged (DS0)*, *slightly damaged (DS1)*, *moderately damaged (DS2)*, *extensively damaged (DS3)* und *completely damaged (DS4)*. Als Präzisierung von DS4 werden zusätzlich die Ausprägungen *stricken (DS4a)*, *partially collapsed (DS4b)* sowie *collapsed (DS5)* unterschieden. Bei Straßenschäden kann neben der Information, ob und durch was die Straße (Trümmer oder Überflutung) blockiert ist, auch der Umfang übermittelt werden. Dies beinhaltet z. B. eine Abschätzung der Art und des Volumens der blockierenden Trümmer. Die Meldung eines Feuers unterscheidet bei der Klassifikation der Gefahr zwischen dem Schaden, den der Brand bereits angerichtet hat (*not burned, slightly burned, moderately burned, strongly burned* und *burned out*), und der aktuellen Stärke des Feuers (*not burning, slightly burning, moderately burning, strongly burning*). Für eine Entscheidung auf Stabsebene sind Beschreibungen der Schadensbilder anhand von Klassen ausreichend. Außerdem stehen detailliertere Beschreibungen oft sowieso nicht zur Verfügung, da die Meldungen meist auf oberflächlichen Beobachtungen beruhen. Genauere Informationen ermitteln erst die dem Gefahrenbereich zugeordneten Einheiten. Diese versenden unter anderem einen *DamageReportHumanCasualties*, eine Meldung bezüglich verletzter Personen. Dieser kann entweder eine Abschätzung der Zahl von Betroffenen oder eine genauere Aufschlüsselung nach Verletztenklassen enthalten. Im Rahmen einer Abschätzung wird die Gesamtzahl von Personen, die

während des Auftretens des Schadens im Gefahrenbereich anwesend waren (*affected*), sowie die Zahl der möglicherweise betroffenen Personen (*aggrieved*) erfasst. Die Einteilung der Verletzten in Klassen erfolgt durch Triage. Der Begriff hat seine Wurzeln in der Militärmedizin und basiert auf dem Problem der Verteilung knapper Ressourcen bei einem Massenansturm von behandlungsbedürftigen Personen. Die mit der Triage verbundene Abwägung soll die Anzahl der Überlebenden maximieren, wobei die zu treffenden Entscheidungen ethisch und moralisch durchaus problematisch sind. Erläuterungen zu dem Thema finden sich bei Crespin und Neff sowie Kirchhoff und Bedacht [CN00, KB84]. Die Aufschlüsselung nach Verletztenklassen erfolgt auf Basis der Anzahl von Personen in den Triageklassen  $T_0$  bis  $T_5$ , wobei  $T_0$  für *not injured*,  $T_1$  für *immediate treatment*,  $T_2$  für *delayed treatment*,  $T_3$  für *minor injured*,  $T_4$  für *small chance* und  $T_5$  für *deceased* steht. Zusätzlich zu den speziellen Schadensmeldungen gibt es den *DamageReport*, in dem die Beschreibung der Gefahr in Freitext erfolgt. Dies entspricht einer klassischen schriftlichen Meldung und ermöglicht die Übermittlung beliebiger Gefahrensituationen und Informationen. Die so übertragenen Informationen können allerdings nicht automatisiert durch das DMT ausgewertet werden.

Neben der Schadensbeschreibung enthält eine Schadensmeldung auch eine Beurteilung ihrer Qualität und Glaubwürdigkeit. Die Qualifikation des Beobachters ist in die Klassen *expert*, *reliable* und *unreliable* eingeteilt. Bei der Sicherheit der Beobachtung wird unterschieden zwischen *inspection*, *likely*, *range*, *possible* und *unlikely*. Die Einstufung der Qualifikation des Beobachters erfolgt entweder automatisch – so wird z. B. eine elektronische Meldung durch eine Einheit der Feuerwehr mit *expert* bewertet – oder sie wird durch den entgegennehmenden Disponenten bewertet und manuell eingetragen. Ein Algorithmus leitet daraus die Glaubwürdigkeit der Meldung ab (siehe Unterabschnitt 5.4.3). Zur Einbindung der Simulation wird das Schema von Qualität und Glaubwürdigkeit um weitere Stufen ergänzt (vgl. Abschnitt 6.2).

### 5.2.3. Befehlsnachricht

Mit Befehlsnachrichten (*Order*) geben Entscheidungsträger des Katastrophenstabes den Einsatzressourcen Handlungsanweisungen. Auf der taktisch-operativen Ebene sind keine detaillierten Anweisungen notwendig, da die operative Führung an der Einsatzstelle durch die dort zuständige Einsatzleitung vor Ort erfolgt. Das DMT-Message-Format beinhaltet Nachrichten zur Zuordnung einer Einheit zu einem Gebiet (*OrderAssignToOperationArea*), einen Befehl zum Transport von Gütern, Personen oder Verletzten (*OrderTransport*) sowie die Anweisung, eine Aufgabe an einem vorgegebenen Ort auszuführen (*OrderAssignTask*). Eine Ressource in einen Bereitstellungsraum oder an eine Einsatzstelle zu beordern erfolgt z. B. über die Nachricht *OrderAssignToOperationArea*. Um eine Einheit anzuweisen, sich zu einer Pause in einen Ruheraum zu begeben, wird sie mit der Aufgabe *Rest* über den Befehl *OrderAssignTask* dem Ruheraum zugeordnet. Das Verschicken eines Befehls (*Order*) an eine Ressource ist nur dem Entscheidungsträger möglich, dem diese direkt

unterstellt ist. Ist eine Einheit dagegen einem anderen Entscheidungsträger unterstellt, kann sie über eine Unterstützungsanfrage (*Support*) angefordert werden (siehe Unterabschnitt 5.2.5).

### 5.2.4. Statusmeldung

Mit einer Statusmeldung (*ResourceReport*) informieren Einsatzressourcen den für sie zuständigen Entscheidungsträger über ihre aktuelle Situation. Im Gegensatz zu Befehlen wird hier eine Vielzahl von Nachrichtentypen genutzt, die detaillierte Aussagen über den Zustand von Ressourcen ermöglichen. Abbildung 5.5 gibt einen Überblick über die verschiedenen Zustände, die eine Ressource einnehmen kann, sowie die entsprechenden Statusmeldungen.

Um eine initiale Sicht auf die vorhandenen Ressourcen zu erhalten, schicken alle verfügbaren Kräfte die Meldung *ReportResourceAvailable*. Mit dieser werden auch die Leistungsdaten der jeweiligen Ressource übertragen (vgl. Unterabschnitt 5.3.1.2). Dies ist notwendig, falls Ressourcen von außerhalb zur Unterstützung herangeführt werden, deren Eigenschaften im System nicht bekannt sind. Über den Status einer Ressource (*available*, *assigned*, *resting*, *out of order*) sowie ihre aktuelle Position informiert *ReportOperationalStatus*. Wurde ein *OrderAssignToOperationArea* bzw. *OrderAssignTask* an eine Einheit übermittelt, quittiert sie dies mit einem *ReportConfirmAssign*. Solange sie sich auf dem Weg zu einem Gebiet befindet, wird anhand einer Meldung *ReportOnTheMove* sowohl die aktuelle als auch die zu erreichende Position übermittelt. Es ist davon auszugehen, dass in Zukunft die meisten Ressourcen ihren Standort automatisch ermitteln und übermitteln können, sodass die Einsatzleitung regelmäßige *ReportOperationalStatus* bzw. *ReportOnTheMove* Meldungen erhält. Kann ein zugewiesenes Gebiet nicht erreicht werden, z. B. weil alle Zugangsstraßen blockiert sind, informiert eine Nachricht *ReportDestinationNotReachable* über diesen Umstand. Wurde ein Gebiet wie befohlen erreicht, wird dies über eine Meldung *ReportArrivalAtAssignment* mitgeteilt.

Wurde einer Ressource neben dem Ziel eine Aufgabe in Form eines Befehls *OrderAssignTask* übergeben, wird der Beginn der zugewiesenen Arbeit mit der Meldung *ReportStartTask* bestätigt. Der Abschluss der Arbeit wird durch die Nachricht *ReportStopTask* gemeldet. Es ist zu beachten, dass die Ankunft in einem Gebiet bzw. die Wiederverfügbarkeit einer Ressource nicht mit dem Beginn bzw. Ende ihrer Arbeit zusammenfallen müssen, da vor und nach einem Einsatz Rüstzeiten anfallen können, z. B. für das Aus- und Einpacken von Einsatzmitteln. Für Meldungen über besondere Ereignisse eine Einheit oder Einsatzstelle betreffend, wie z. B. das Bergen einer verschütteten Person oder das Löschen eines Brandes, ist die Meldung *ReportEvent* vorgesehen.

Einheiten vor Ort können nicht selbstständig zusätzliche Kräfte zur Unterstützung anfordern, sondern stellen Hilfsanfragen an ihre Einsatzleitung. Dort muss entschieden werden, ob zusätzliche Kräfte verfügbar sind und ob eine Hilfsanfrage an eine

andere Organisationseinheit notwendig ist, um anderen Entscheidungsträgern unterstellte Ressourcen anzufordern. Entsprechende Anfragen durch Feldkräfte erfolgen über eine Nachricht *ReportRequestAssistance*, in der keine spezifischen Ressourcen, sondern die notwendigen Aufgaben festgelegt sind. So ist es z. B. möglich, einen Kran mit spezifischen Vorgaben für die Unterstützung einer Bergungsaktion oder weitere medizinische Hilfe für die Sicherung eines Feuerwehreinsatzes anzufordern.

### 5.2.5. Unterstützungsanfrage

Eine Anfrage nach Unterstützung (*Support*) dient dazu, Leistungen von anderen Organisationseinheiten anzufordern. Mit der Statusmeldung *ReportRequestAssistance* einer Ressource im Einsatz wird dem Entscheidungsträger mitgeteilt, dass zur Erfüllung ihres Auftrages weitere Leistungen notwendig sind oder zumindest hilfreich wären. Steht deren Einsatz nicht in der Verfügung des betreffenden Entscheidungsträgers, kann er eine Unterstützungsanfrage an die für diese Leistung verantwortliche Organisationseinheit richten. Der dort tätige Entscheidungsträger hat abzuwägen, ob er Ressourcen für die angeforderte Leistung abstellen kann. Aktuell sind im DMT Unterstützungsanfragen für den Transport von Verletzten (*SupportAmbulance*) sowie die Bereitstellung von Kräften (*SupportResource*) für medizinische oder technische Hilfe vorgesehen. Durch eine Anfrage vom Typ *SupportRepairInfrastructure* kann die Wiederherstellung von Infrastruktur, wie Wasserversorgung oder Straßen, angefordert werden. Ein Nachricht *SupportUnblockStreet* fordert das Räumen einer von Trümmern blockierten Straße an. Diese wird vor allem dann genutzt, wenn der Zugang zu einem Gefahrenbereich blockiert ist.

## 5.3. Modell der Umwelt

Voraussetzung für die effektive Verarbeitung von Informationen durch ein Programm ist deren aufgabenorientierte strukturierte Modellierung. Für die Komponenten des DMT wurde ein einheitliches Datenmodell spezifiziert, das ihre Interoperabilität sicherstellt. Eine Herausforderung ist dabei, dass sich die technische Umsetzung und Nutzung des Modells bei den verschiedenen Typen von Komponenten unterscheidet. Der Hauptgrund dafür ist ihre unterschiedliche Sicht auf die Umwelt, die Abbildung 5.3 mit der Darstellung verschiedener Informationsniveaus verdeutlicht.

Innerhalb der Simulationsumgebung agiert ein Teil der Komponenten aufgrund vollständiger Informationen. Zum Beispiel kennt die Simulation der Gebäudebrände immer den genauen Zustand aller Feuer. Damit bestimmte Simulatoren, wie z. B. die von Ressourcen, realistisch agieren, wird deren Wissen eingeschränkt, indem sie nur in einem festgelegten Wahrnehmungsbereich Informationen der Umwelt erhalten. Eine Modellierung von Unschärfe bei Aussagen über den Zuständen von Objekten ist im Datenmodell der simulierten Umwelt nicht notwendig. Ist sie, wie z. B. für Schulungszwecke, gewünscht, wird sie bei der Erzeugung von Meldungen erzeugt.

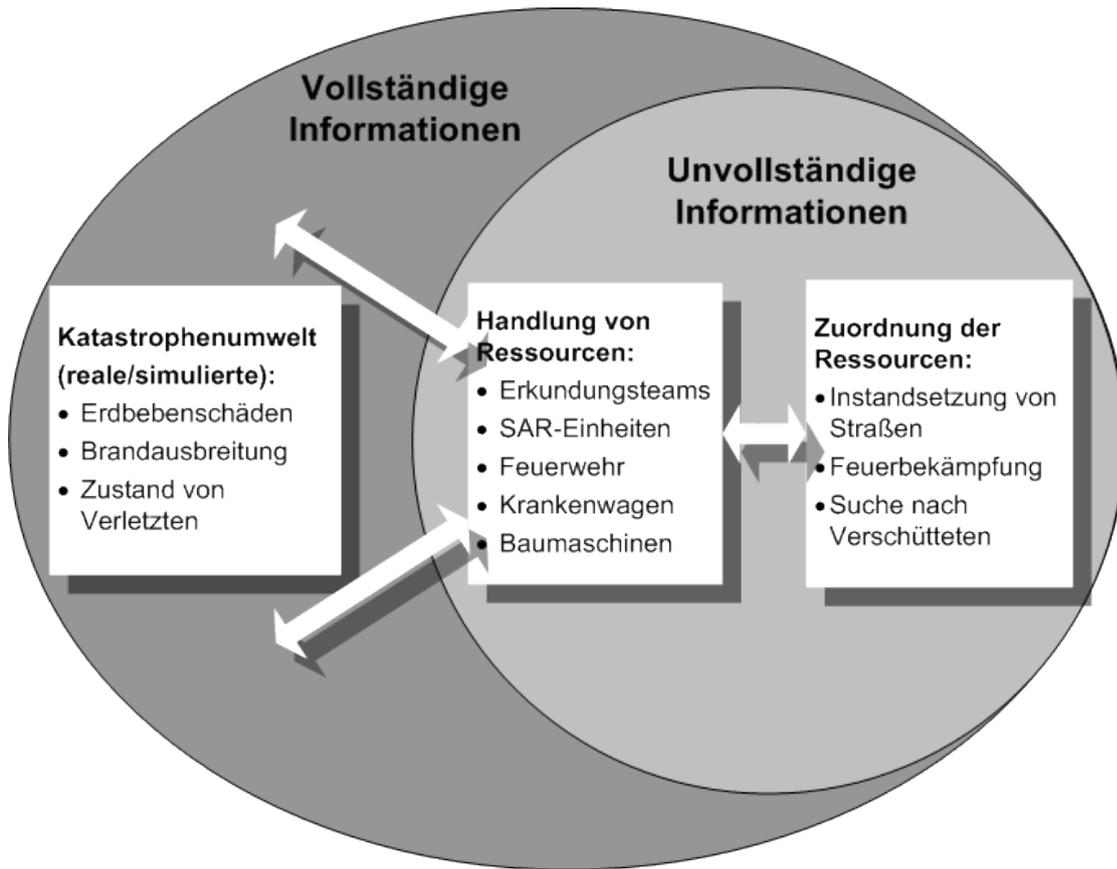


Abbildung 5.3.: Informationsniveaus

Der Agent für die Entscheidungsunterstützung verfügt wie ein menschlicher Entscheider über mehr oder weniger unvollständige Informationen. Es ist unmöglich, ein vollumfängliches, gesichertes Bild über den aktuellen Zustand der Umwelt zu erhalten, wie es für eine Entscheidungsfindung optimal wäre. Jede Information ist mit Unschärfe behaftet. Statt einer jederzeit aktuellen Aussage über den Zustand eines Gebäudes existiert lediglich eine mehr oder minder unscharfe Momentaufnahme (vgl. dazu Unterabschnitt 5.4.3). Auf Basis dieser unvollständigen Informationen entwickelt ein menschlicher Entscheidungsträger sein mentales Abbild der Situation in der Umwelt. Dieses geht über die reinen Fakten hinaus, da es individuelle Einschätzungen, Erfahrungen und Beurteilungen einschließt. Die ADVISOR-Agenten müssen dies berücksichtigen und in ihre Modellierung der Umwelt mit einbeziehen.

Im Weiteren wird zunächst ein Basismodell beschrieben, das in allen Komponenten des DMT verwendet wird, um danach auf spezifischen Erweiterungen für die unterschiedlichen Systemkomponenten einzugehen.

### 5.3.1. Basismodell

Instanzen der realen Welt, wie z. B. Gebäude oder Ressourcen, werden im Modell mit einem systemweit für den Namensraum der Objektklasse eindeutigen Bezeichnern versehen. Dieser dient dazu, sie über alle Komponenten hinweg eindeutig referenzieren zu können. Bei den Objektklassen werden u. a. Ressourcen, Gebäude, Straßenknoten und Straßenkanten unterschieden. Bei Ressourcen erfolgt zusätzlich eine Gruppierung nach gleichartiger Ausstattung. So sind z. B. baugleiche Rettungswagen einer gemeinsamen Typbeschreibung zugeordnet. Zur Darstellung in der Lagekarte hat jedes Objekt eine dort definierte Position. Zahlenwerte repräsentieren seinen Zustand, wie z. B. die aktuelle Aufgabe einer Ressource oder die Schäden an einem Gebäude. Die Werte werden zur Darstellung verbal beschrieben. Dies erleichtert die verständliche Präsentation der Daten und die Eingabe von Fakten durch den Anwender.

#### 5.3.1.1. Umweltbeschreibung

Das Datenmodell differenziert innerhalb der Menge aller Objekte  $O$  zwischen denen aus der Umwelt, die sich durch Entscheidungen der Einsatzleitung nur indirekt beeinflussen lassen, und Ressourcen, die anhand von Anweisungen in der Umwelt handeln und diese dadurch verändern. Die Menge der Umweltobjekte des Basismodells  $U$  besteht aus den Gebäuden  $B$  und dem Straßennetz  $S$ , welches Straßen in Form von Knoten  $N$  und Kanten  $E$  repräsentiert. In der Umwelt agieren Ressourcen  $R$ , die zusammen mit  $U$  die Gesamtwelt  $W$  bilden:

- $U = \{B, S\}$ ,
- $S = \{N, E\}$ ,
- $W = \{U, R\}$ ,
- mit  $B, N, E, R \in O$

Ein Objekt  $O_i, i = 1..n$  in  $W$  wird beschrieben durch unveränderliche Eigenschaften in seinen Attributen und seinem veränderlichen Zustand in den Fakten:

1. *Attribute*  $A_O$ , sind im Rahmen des betrachteten Zeitraums der Katastrophenbewältigung unveränderlich. Beispiele sind ein eindeutiger Name, den jedes Objekt besitzt, die Position stationärer Objekte wie Straßenknoten oder die Anzahl der Stockwerke eines Gebäudes.
2. *Fakten*  $F_O(t)$  zu einem Zeitpunkt  $t$  verändern sich durch äußere Einflüsse oder aus eigenem Antrieb. Beispiele sind die Position einer Ressource oder der Schaden an einem Gebäude.

Die Beschreibung eines Objektes zu einem Zeitpunkt  $t$  ist somit die Menge seiner Attribute und Fakten  $O_i(t) = \{A_{o_i}, F_{o_i}(t)\}$ .

### 5.3.1.2. Ressourcen

Als Ressourcen werden im DMT alle Kräfte bezeichnet, die zur Bewältigung herangezogen werden können. Dies umfasst neben offiziellen Einsatzkräften auch *Nicht-regierungsorganisation* (*Non-governmental organization (NGO)*) und freiwillige Hilfskräfte. Es können nur die Ressourcen in der Simulation oder bei der Entscheidungsunterstützung berücksichtigt werden, die der Faktenbasis des Systems bekannt sind. Die  $i$ -te mobile Ressource  $R_i$  mit  $i \in N$  ist beschrieben durch

- die Menge ihrer Eigenschaften

$$A_{R_i} = \left\{ a_{R_i}^{Bez}, a_{R_i}^{Klasse}, T_{a_{R_i}^{Klasse}}(t) \right\} \quad (5.1)$$

- und die zum Zeitpunkt  $t$  verfügbaren Fakten

$$F_{R_i}(t) = \left\{ f_{R_i}^{Pos}(t), f_{R_i}^{Ziel}(t), f_{R_i}^{Status}(t), f_{R_i}^{AktivSeit}(t) \right\}. \quad (5.2)$$

Dabei ist  $T_{a_{R_i}^{Klasse}}(t)$  die Beschreibung des Ressourcentyps mit dem Index  $t \in \mathbb{N}$  aus der Ressourcenklasse  $a_{R_i}^{Klasse}$ . Die Attribute der Beschreibung sind davon abhängig, ob eine Ressource unbeweglich  $T_{a_{R_i}^{Klasse}}(t) = \left\{ a_{R_i}^{Tbez}, \vec{a}_{R_i}^A \right\}$  oder beweglich  $T_{a_{R_i}^{Klasse}}(t) = \left\{ a_{R_i}^{Tbez}, a_{R_i}^V, a_{R_i}^B, a_{R_i}^H, a_{R_i}^M, \vec{a}_{R_i}^A \right\}$  ist.

Zu den allgemeinen Attributen einer Ressource zählt ihre Bezeichnung ( $a_{R_i}^{Bez}$ ) sowie ihre Ressourcenklasse ( $a_{R_i}^{Klasse}$ ), auf der u. a. die Weisungsbefugnis von Mitgliedern der Einsatzleitung basiert. Es wird z. B. zwischen *Fire Brigade*, *SAR*, *Recon* oder *Ambulance* unterschieden. In einer Klasse existieren unterschiedliche Ressourcentypen ( $T_{a_{R_i}^{Klasse}}(t)$ ). Ressourcen eines Typs haben gemeinsame Eigenschaften, da es sich beispielsweise um gleiche Fabrikate handelt. Ihre Eigenschaften werden nur einmal in der Faktenbasis angelegt. Jeder Ressourcentyp hat eine spezifische Bezeichnung ( $a_{R_i}^{Tbez}$ ) und wird durch weitere Ausstattungsmerkmale beschrieben, die in dem Vektor  $\vec{a}_{R_i}^A$  abgelegt sind. Dieser enthält Attribute wie z. B. die Löschleistung eines Feuerwehrfahrzeugs (l/s) oder das Volumen der Mulde eines Lastwagens ( $\text{m}^3$ ). Bei mobilen Ressourcen sind die Attribute für die Fortbewegung auf Straßen erfasst, wie die erreichbare Reisegeschwindigkeit ( $a_{R_i}^V$ ) sowie die Breite ( $a_{R_i}^B$ ), Höhe ( $a_{R_i}^H$ ) und das Gewicht ( $a_{R_i}^M$ ) des Ressourcentyps.

Veränderliche Fakten von Ressourcen sind ihre aktuelle Position  $f_{R_i}^{Pos}(t)$  sowie ggf. ihr Fahrziel  $f_{R_i}^{Ziel}(t)$ . Ihr aktuell bekannter Status ist in  $f_{R_i}^{Status}(t)$  abgelegt. Vorgesehen sind die Klassen *available*, *preliminary assigned*, *assigned*, *resting*, *out of order* sowie *unknown*. In  $f_{R_i}^{AktivSeit}(t)$  wird der Zeitpunkt gespeichert, seit dem eine Ressource ohne Pause aktiv ist. Als aktiv wird sie angesehen, wenn ihr Status von *available* auf *assigned* wechselt. Eine Ruhepause (Status *resting*) setzt den Wert zurück.

### 5.3.1.3. Umwelt

Das Basismodell der Umwelt  $U = \{B, S\}$  besteht aus den Gebäuden und dem Straßennetz. Eine Gefahr wird durch Schäden an Objekten der Umwelt ausgelöst. Diese enthalten in diesem Fall neben den statischen Eigenschaften die Beschreibung eines Gefahrenbereiches.

Alle Umweltobjekte enthalten eine Beschreibung der gefährdeten oder verletzten Personen an dem Ort  $f_{U_i}^{PSchaden}(t)$  zum Zeitpunkt  $t$ , welche definiert ist durch  $f_{U_i}^{PSchaden}(t) = \{f_{U_i}^{T0}(t), f_{U_i}^{T1}(t), f_{U_i}^{T2}(t), f_{U_i}^{T3}(t), f_{U_i}^{T4}(t), f_{U_i}^{PersB}(t), f_{U_i}^{PersG}(t)\} / f_{U_i}^{PSchaden}(t) \in F_U(t)$ .

Eine Übersicht über die Verletzten enthalten die Felder  $f_{U_i}^{T0}(t)$  bis  $f_{U_i}^{T4}(t)$ , welche die Anzahl der zum Zeitpunkt  $t$  gemeldeten Personen in den jeweiligen Triageklassen unverletzt  $T0$  bis tot  $T5$  speichern (vgl. auch Unterabschnitt 5.2.2). In  $f_{U_i}^{PersB}(t)$  ist die Gesamtzahl der von der Gefahr betroffenen Personen abgelegt und in  $f_{U_i}^{PersG}(t)$  die Zahl der akut gefährdeten bzw. geschädigten. Dabei ist der Fakt  $f_{U_i}^{PersB}(t)$  nicht zu verwechseln mit den Eigenschaften von Gebäuden  $a_{B_i}^{PersN}$  bis  $a_{B_i}^{PersA}$ . Bei einem eingestürzten Gebäude z. B. wird die Zahl der Gesamtpersonen, die sich bei der Beschädigung im Gebäude befanden, in  $f_{U_i}^{PersB}(t)$  und die Zahl der Verschütteten in  $f_{U_i}^{PersG}(t)$  abgelegt. Nach der Bergung von Personen werden die Werte  $f_{U_i}^{T0}(t)$  bis  $f_{U_i}^{T4}(t)$ , abhängig vom Gesundheitszustand der Geborgenen, aktualisiert.

Die Daten zur Beschreibung des  $i$ -ten Gebäudes  $B_i$  mit  $i \in \mathbb{N}$  werden definiert durch

- eine Menge von Attributen

$$A_{B_i} = \{a_{B_i}^{Bez}, a_{B_i}^S, a_{B_i}^A, a_{B_i}^{Kk}, a_{B_i}^{Nk}, a_{B_i}^{Pers}, a_{B_i}^{PersN}, a_{B_i}^{PersT}, a_{B_i}^{PersA}, a_{B_i}^{Pos}, a_{B_i}^{Knoten}\} \quad (5.3)$$

- und die zum Zeitpunkt  $t$  verfügbaren Fakten

$$F_{B_i}(t) = \{f_{B_i}^{ESchaden}(t), f_{B_i}^{BSchaden}(t), f_{B_i}^{PSchaden}(t)\}. \quad (5.4)$$

Die Werte in der Menge der Attribute  $A_{B_i}$  sind eine Mischung aus allgemeinen, konstruktiven und demografischen Informationen über ein Gebäude. Enthalten sind u. a. die geografisch referenzierte Position  $a_{B_i}^{Pos}$ , die Anzahl der Stockwerke  $a_{B_i}^S$ , die Grundfläche  $a_{B_i}^A$  und seine Konstruktionsweise  $a_{B_i}^{Kk}$ . Die Klassifikation der Konstruktionsweise ist an der HAZUS-Methodik angelehnt (vgl. [Fie04, FEM11]). Da die Schadenssimulation EQSIM für ihre Berechnungen detailliertere Informationen über das Gebäudes benötigt, sind hierfür weitere spezifische Attribute in der Faktenbasis abgelegt. Für die übrigen Systemkomponenten ist eine Unterscheidung der hauptsächlich verwendeten Werkstoffe Stahlbeton (*concrete*), Mauerwerk (*masonry*) oder Holz (*wood*) ausreichend. Über  $a_{B_i}^{Nk}$  wird der Nutzungszweck eines Gebäudes eingeordnet. Die Klassifikation orientiert sich ebenfalls am HAZUS-Modell (siehe Abschnitt A.4). Eine Abschätzung der im Gebäude zu erwartenden Personen ist in  $a_{B_i}^{Pers}$  abgelegt.

Sind Informationen über eine spezifische Anzahl für bestimmte Zeitpunkte verfügbar, wird bei diesen unterschieden zwischen  $a_{B_i}^{PersN}$  für die Nacht-/Abendstunden (18.00–6.00 Uhr),  $a_{B_i}^{PersT}$  während der Arbeitszeit an einem Arbeitstag (8:00–16.00 Uhr) und  $a_{B_i}^{PersA}$  für die Hauptzeiten des Berufsverkehrs (6.00–8.00 Uhr und 16.00–18.00 Uhr). Die Zugänge eines Gebäudes zum Straßennetz  $S$  sind durch eine Liste von Knoten  $a_{B_i}^{Knoten}$  aus  $N$  modelliert.

Die Fakten zu einem Gebäude enthalten den aktuell bekannten Zustand  $F_{B_i}(t)$  bezüglich Beschädigungen und betroffener Personen. Berücksichtigt sind Brände  $f_{B_i}^{BSchaden}(t)$ , strukturelle Schäden  $f_{B_i}^{ESchaden}(t)$  und betroffene Personen  $f_{B_i}^{PSchaden}(t)$ . Der aktuelle Zustand eines Brandes  $f_{B_i}^{BSchaden}(t) = \{f_{B_i}^{Ex}(t), f_{B_i}^{St}(t)\}$  wird durch den bisher entstandenen Schaden  $f_{B_i}^{Ex}(t)$  sowie die aktuelle Stärke des Feuers  $f_{B_i}^{St}(t)$  beschrieben. Der Schadensumfang ist in unterschiedliche Klassen eingeteilt, die denen der in Unterabschnitt 5.2.2 beschriebenen Schadensmeldungen entsprechen. Analog dazu ist in  $f_{B_i}^{ESchaden}(t)$  der strukturelle Schadensumfang durch das Erdbeben abgelegt.

Das Straßennetz  $A$  ist in Form eines Graphen aus den Knoten  $N^*$  und den sie verbindenden Kanten  $E^*$  abgelegt. Ein Straßenknoten  $N_i \in N^*$  mit  $i \in \mathbb{N}$  wird durch eine Menge von Attributen  $A_{N_i} = \{a_{N_i}^{Pos}\}$  beschrieben. Die georeferenzierte Position ist wie bei Gebäuden durch  $a_{N_i}^{Pos}$  festgelegt. Ein Knoten kann Teil einer Straße sein und/oder als Zugang zu einem Ort, z. B. einem Gebäude, dienen. Die Verbindung zwischen zwei Knoten stellt eine Kante  $E_i \in E^*$  mit  $i \in \mathbb{N}$  her. Sie wird beschrieben durch

- eine Menge von Eigenschaften

$$A_{E_i} = \{a_{E_i}^{Bez}, a_{E_i}^{vonKnoten}, a_{E_i}^{zuKnoten}, a_{E_i}^{Typ}, a_{E_i}^{Klasse}, a_{E_i}^L, a_{E_i}^B, a_{E_i}^H, a_{E_i}^M\} \quad (5.5)$$

- und die zum Zeitpunkt  $t$  verfügbaren Fakten

$$F_{E_i}(t) = \{f_{E_i}^{SSchaden}(t), f_{E_i}^{PSchaden}(t)\}. \quad (5.6)$$

Eine Kante repräsentiert die Wegstrecke zwischen den Knoten  $a_{E_i}^{vonKnoten}$  und  $a_{E_i}^{zuKnoten}$ . Attribute sind ihre Länge  $a_{E_i}^L$  (m) sowie die maximalen Werte für Fahrzeuge bei Breite  $a_{E_i}^B$  (m), Höhe  $a_{E_i}^H$  (m) und Gewicht  $a_{E_i}^M$  (kg). Weitere Eigenschaften sind der Typ eine Straße  $a_{E_i}^{Typ}$  sowie ihre Nutzungsklasse  $a_{E_i}^{Klasse2}$ . Beim Typ wird zwischen normalen Straßen, Brücken und Tunneln unterschieden. Nutzungsklassen sind innerörtlich, Landstraße und Autobahn<sup>3</sup>. Der Zustand einer Straßenkante wird in  $f_{E_i}^{SSchaden}(t)$  abgelegt. Mögliche Werte sind *unknown*, *free* oder *blocked*.

<sup>2</sup>Die Klassen sind eine vereinfachte Variante derer aus HAZUS (vgl. [FEM11], Anhang B). Vor allem ist die Anzahl der Klassen von Brücken reduziert. Die starke Differenzierung in HAZUS ist nötig, um mögliche Schäden aufgrund eines bestimmten Ereignisses möglichst genau bestimmen zu können. Da im DMT Brücken in der Schadenssimulation nicht speziell berücksichtigt werden, wird auf eine entsprechende Differenzierung verzichtet.

<sup>3</sup>Die Klasse der Straße bestimmt vor allem die mögliche Geschwindigkeit der Fortbewegung. Sie dient auch, dazu Breite, Höhe und Belastbarkeit abzuschätzen, sollten diese Werte nicht explizit vorgegeben sein.

### 5.3.2. Simulation

Das dargestellte Basismodell kommt in allen Komponenten des DMT zum Einsatz. Teilweise wird es allerdings um spezifische Elemente erweitert.

#### 5.3.2.1. Verletzte

Für eine Simulation von Verletzten wird das Basismodell um die Menge an Opfern eines Schadensereignisses  $C^{SIM} \in O$  erweitert. Somit gilt  $W^{SIM} = \{B^{SIM}, S^{SIM}, R^{SIM}, C^{SIM}\}$ . Jede verletzte Person ist im Simulationsagent ein Objekt  $C_i$  mit  $i \in \mathbb{N}$ , das eine eigenständige Zustandsbeschreibung aufweist. Sie wird beschrieben durch

- eine Menge von Eigenschaften

$$A_{C_i^{SIM}} = \{a_{C_i^{SIM}}^G, a_{C_i^{SIM}}^A\} \quad (5.7)$$

- und die zum Zeitpunkt  $t$  verfügbaren Fakten

$$F_{C_i^{SIM}}(t) = \{f_{C_i^{SIM}}^{Pos}(t), f_{C_i^{SIM}}^{Zustand}(t), f_{C_i^{SIM}}^{Status}(t)\}. \quad (5.8)$$

Zu den unveränderlichen Attributen jedes Verletzten zählen sein Alter  $a_{C_i^{SIM}}^A$  und sein Geschlecht  $a_{C_i^{SIM}}^G$ . Seine Position  $a_{C_i^{SIM}}^{Pos}$  ändert sich im Rahmen seiner Versorgung, z. B. während des Transports in ein Krankenhaus. Der Status  $f_{C_i^{SIM}}^{Status}(t)$  legt fest, ob ein Verletzter noch verschüttet ist *trapped*, bereits geborgen wurde (*rescued*), gerade transportiert wird (*on transport*) oder sich im Krankenhaus befindet (*in hospital*). In der Simulation beeinflusst dieser Status die Entwicklung des Gesundheitszustands  $f_{C_i^{SIM}}^{Zustand}(t)$ , der durch eine Triageklasse beschrieben ist. Aus der Modellierung ergibt sich eine Veränderung in der Faktenrepräsentation hinsichtlich der Verletzten eines Gefahrenbereiches  $f_{U_i^{SIM}}^{PSchaden}(t)$ . Anstatt der Anzahl der Verletzten pro Triageklasse wird eine Liste aller Verletzten  $f_{U_i^{SIM}}^{PSchaden}(t) = [C_1(t) \dots C_n(t)]$ ,  $n \in \mathbb{N}$ ,  $C_n \in C$  geführt. Aus dieser lässt sich die Anzahl der verletzten Personen pro Triageklassen, wie sie das Basismodell abgebildet, ableiten.

#### 5.3.2.2. Ressourcen

Auch bei den Ressourcen wird das Basismodell für die Simulationsagenten ergänzt. Die Variable  $f_{R_i^{SIM}}^{Aufgabe}(t)$  ordnet die aktuelle Handlung einer Ressourcenklasse konkreter zu, wie u. a. in *search*, *rescue*, *fire extinguishing* und *transport objects*. Die zum Zeitpunkt  $t$  verfügbaren Fakten für Ressourcen werden ergänzt zu

$$F_{R_i^{SIM}}(t) = \left\{ f_{R_i^{SIM}}^{Pos}(t), f_{R_i^{SIM}}^{Ziel}(t), f_{R_i^{SIM}}^{Status}(t), f_{R_i^{SIM}}^{Aufgabe}(t) \right\}. \quad (5.9)$$

Die Simulation wird von anderen Systemkomponenten in unterschiedlichster Form genutzt. Die Differenzierung, in welchem Rahmen eine Nachricht verschickt wird (ob *actual*, *exercise* oder *simulation*) reicht dabei nicht. Um Prognosen auf Basis einer Simulation in der Faktenbasis zu kennzeichnen, wird die Klassifikation der Qualifikation eines Beobachters (*expert*, *reliable* und *unreliable*) um die Klasse *simulation* erweitert.

### 5.3.2.3. Umwelt

Neben den Erweiterungen des Basismodells aller Simulationsagenten gibt es spezifische Anpassungen in einigen internen Modellen. Die Feuersimulation beschreibt ein brennendes Gebäude durch detailliertere Parameter, die nach außen auf die in  $f_{B_i^{SIM}}^{BSchaden}(t)$  beschriebenen Klassen abgebildet werden. Die Beschreibung des Schadens am Gebäude setzt sich dazu aus mehreren Attributen zusammen. Die Werte  $\vec{f}_{B_i^{SIM}}^{Ex}(t)$  enthalten u. a. die Anzahl der bisher verbrannten Stockwerke und die zerstörte Fläche. Die aktuelle Stärke des Feuers  $\vec{f}_{B_i^{SIM}}^{St}(t)$  beschreiben ebenfalls mehrere Werte, wie z. B. die aktuell brennende Fläche jedes betroffenen Stockwerks.<sup>4</sup>

Auch der Zustand einer Straße in  $f_{E_i^{SIM}}^{SSchaden}(t)$  ist zur Simulation der Räumungsarbeiten detaillierter beschrieben. Zusätzlich zu dem Fakt, dass die Straße blockiert ist, wird der Schaden durch einen Vektor von Attributen  $\vec{f}_{E_i^{SIM}}^{SSchaden}(t)$  beschrieben, der die Menge des blockierenden Materials (in m<sup>3</sup>) sowie seine Zusammensetzung (*Beton*, *Mauerwerk*, *Erde* oder *Wasser*) enthält.

### 5.3.3. Entscheidungsunterstützung

Das Datenmodell für die Simulation und die reale Schadenslage unterscheiden sich vor allem deshalb, weil reale Fakten mit Unschärfe versehen sind und kein vollständiges Bild der Lage möglich ist. Unschärfe muss gerade bei der Datenauswertung berücksichtigt werden. Der Austausch zwischen dem menschlichen Nutzer und dem unterstützenden System ist auch deshalb nötig, um beiderseitig auf einem möglichst vollständigen und einheitlichen Lagebild aufzubauen.

#### 5.3.3.1. Risikobewertung

Um menschliche Informationen und Interpretationen welche die Situation von Gefahrenbereichen beschreiben in der Faktenbasis des Systems abzubilden, werden Schadensmeldungen zu einem Umweltobjekt um eine Risikobewertung ergänzt. Diese basiert auf den Bewertungen des Systems sowie Korrekturen und Ergänzungen durch

---

<sup>4</sup>Für eine detaillierte Erläuterung des der Feuersimulation zugrunde liegenden Modells siehe [Fie04].

den menschlichen Nutzer. Da Gefahrenbereiche stets mit Objekten aus der Umwelt assoziiert sind, ist die Risikobewertung  $Q_O(t)$  zu einem Zeitpunkt  $t$  eine Erweiterung der Fakten zu diesen Objekten. Das ergänzte Umweltmodell  $U_i^{DSS}(t) \in U$  zur Beschreibung von Gebäude- und Straßenobjekten ist somit<sup>5</sup>

$$U_i^{DSS}(t) = \{A_{U_i}, F_{U_i}(t), Q_{U_i}(t)\}. \tag{5.10}$$

Gefahr für:	Quellen der Gefahr:										
	Feuer (Fire)	Chemisch (Chemistry)	Strahlung (Radiation)	Elektrizität (Electricity)	Angstreaktionen (Angst)	Explosion (Explosion)	Feuerausbreitung (Fire P.)	Schadstoffausbr. (Toxin P.)	Atemgift (Resp. Toxin)	Gebäudeeinsturz (Collapse)	Verl./Krankh. (Injury)
<b>Menschen</b> (Persons)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<b>Mannschaften</b> (Personell)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<b>Umwelt</b> (Environment)	+	+	+			+	+	+			
<b>Gerät</b> (Equipment)	+	+	+	+		+	+			+	
<b>Tiere</b> (Animals)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<b>Sachwerte</b> (Assets)	+	+	+	+		+	+			+	

**Abbildung 5.4.:** Matrix zur Risikobewertung eines Gefahrenbereiches  
(Mit einem + gekennzeichnete Einträge stellen valide Kombinationen dar)

Die Risikobewertung eines Gefahrenbereiches  $Q_{O_i}(t)$  ist in einer Matrix abgelegt, in deren Zeilen die Gefahrentypen und in deren Spalten potenziell gefährdete Instanzen abgetragen sind. Abbildung 5.4 gibt eine Übersicht über den Aufbau der Risikomatrix. Bei den Gefahrentypen wird unterschieden zwischen ortsgebundenen wie *Feuer (Fire)*, *chemischen Stoffen (Chemistry)*, *Strahlung (Radiation)*<sup>6</sup>, *Elektrizität (Electricity)*, *Panikreaktion (Angst)*, *Explosionen (Explosion)*, *Atemgiften (Resp. Toxins)*, *Gebäudeeinstürzen (Collapse)* sowie *Verletzungen/Krankheiten (Injury)* und dem Risiko der Ausbreitung einer lokalen Gefahr durch *Feuerausbreitung (Fire Prop.)* oder *Schadstoffausbreitung (Toxin Prop.)*. Bei den gefährdeten Instanzen wird differenziert zwischen *Menschen (Persons)*, *Mannschaften (Personnel)*, *Umwelt (Environment)*, *Gerät (Equipment)*, *Tieren (Animals)* und *Sachwerten (Material Assets)*. Die

<sup>5</sup>Straßen sind im Modell als Orte für Risikobewertungen vorgesehen. Eine entsprechende Entscheidungsunterstützung wurde allerdings nicht umgesetzt. Es wird lediglich berücksichtigt, ob eine Straße passierbar ist.

<sup>6</sup>Mit Strahlung wird in der Matrix die Bedrohung durch atomare Strahlung bezeichnet.

Zellen der sich daraus ergebenden Matrix stellen die Bewertung des Risikos dar, welches einer Instanz aus der Gefahr bei dem betrachteten Umweltobjekt erwächst. Das Risiko wird eingeteilt in die Klassen *no risk*, *low risk*, *medium risk*, *high risk* und *unknown risk*. Zellen mit nicht zutreffenden Zuständen sind *undefined* (Zellen ohne + in der Abbildung). Existieren keine Fakten, die ein entsprechendes Risiko belegen, wird die Zelle mit *no risk* bewertet. *Unknown risk* zeigt an, dass Fakten ein entsprechendes Risiko nahelegen, das Ausmaß der Gefahr aber aktuell nicht bestimmt werden kann. Ist die Faktenlage ausreichend, wird das Risiko in die Klassen *low risk*, *medium risk* oder *high risk* eingeordnet. Auf die Nutzung der Risikomatrix und ihre Implementierung im DMT wird in Abschnitt 6.5 sowie Abschnitt 8.2 eingegangen.

### 5.3.3.2. Umwelt

Die Unschärfe bei Fakten zu Umweltobjekten wird mit Fuzzy-Logik-Ausdrücken modelliert (siehe Unterabschnitt 5.4.3). Jede Aussage wird hinsichtlich ihres Wahrheitsgehalts bewertet und mit einer Klassifikation ihrer *Glaubwürdigkeit* versehen. Jede anhand eines Damage-Reports erhaltene Statusinformation trifft nur mit einer bestimmten Glaubwürdigkeit zu. Im Datenmodell ist dieser Umstand wie folgt abgebildet.

Die Glaubwürdigkeit  $r$  ist eine unscharfe Menge, in die qualitative Bewertungen sowie der Zeitraum, der seit der Beobachtung verstrichen ist, einfließen (vgl. dazu Unterabschnitt 5.4.3). In der Faktenbasis ist  $r$  in Form einer Fuzzy-Menge repräsentiert, welche zur Darstellung und zum Vergleich durch Defuzzifizierung auf einen Zahlenwert abgebildet wird. Die Fakten zu dem Zustand eines Umweltobjektes  $i$  zum Zeitpunkt  $t$  sind ein Vektor aus dem Tripel  $\vec{f}_{O_i^{DSS}}^{Zustand}(t) = (s, \vec{r}, t_L)$ . Darin basiert jede Zustandsbeschreibung  $s$  auf der Auswertung einer Beobachtung zum Zeitpunkt  $t_L$  ( $t_L \leq t$ ), deren Glaubwürdigkeit die Fuzzy-Menge  $r$  repräsentiert.

Die Beschreibung des strukturellen Gefahrenbereiches eines Gebäude  $\vec{f}_{B_i^{DSS}}^{ESchaden}(t)$  soll die Modellierung beispielhaft erläutern. Für ein Gebäude  $i$  sei eine Schadensmeldung zum Zeitpunkt  $t_a$  mit der Klassifikation *moderately damaged* (*DS3*) sowie der Glaubwürdigkeit  $r_a$  verfügbar und eine weitere Meldung zum Zeitpunkt  $t_b$  mit der Schadensklasse *slightly damaged* (*DS2*) sowie der Glaubwürdigkeit  $r_b$ . Zum Zeitpunkt  $c$  mit  $c \geq a \wedge c \geq b$  wird der Strukturschaden beschrieben durch

$$\vec{f}_{B_i^{DSS}}^{Schaden}(c) = \begin{pmatrix} s = DS0, r = 0, t_L = 0 \\ s = DS1, r = 0, t_L = 0 \\ s = DS2, r = r_b, t_L = t_b \\ s = DS3, r = r_a, t_L = t_a \\ s = DS4, r = 0, t_L = 0 \\ s = DS5, r = 0, t_L = 0 \end{pmatrix}. \quad (5.11)$$

Analog zu Gebäudeeinstürzen wird auch das Datenmodell für Feuer entsprechend erweitert. Das Ausmaß und die Stärke eines Brandes werden ebenfalls durch die Vektoren aus Schadensklasse, Glaubwürdigkeit und Zeit repräsentiert. Die beschreibenden Elemente von  $f_{B_i^{DSS}}^{BSchaden}(t)$  sind somit  $\vec{f}_{B_i^{DSS}}^{Ex}(t)$  bzw.  $\vec{f}_{B_i^{DSS}}^{St}(t)$ . Im Gegensatz zu strukturellen Schäden verliert die Meldung über den Status eines Feuers mit zunehmender verstrichener Zeit an Glaubwürdigkeit (vgl. Unterabschnitt 5.4.3). Dies bezieht sich allerdings nicht auf den Fakt, dass ein Gebäude brennt bzw. gebrannt hat, sondern auf die Ausprägung, also den Umfang des Feuers, beschrieben in  $\vec{f}_{B_i^{DSS}}^{St}(t)$  und  $\vec{f}_{B_i^{DSS}}^{Ex}(t)$ . Sei z. B. die glaubwürdige Meldung eingegangen, dass in einem Gebäude ein Feuer mit der Stärke *moderately burning* ausgebrochen ist, bei dem bisher ein Schaden von *low* als glaubwürdigster Fakt vorliegt. Nach zwei Stunden ist die Aussage über die Stärke und den entstandenen Schaden nicht mehr glaubwürdig. Der Fakt, dass das Gebäude brennt bzw. gebrannt hat, gilt noch immer mit der Glaubwürdigkeit der ursprünglichen Meldung. Der dafür angenommene Wert ist das Maximum der Glaubwürdigkeit  $r$  aus allen bis zum Zeitpunkt  $t$  eingegangenen Meldungen zu einem Feuer. Modelliert ist dies durch die Erweiterung der Beschreibung des Brandschadens  $f_{B_i^{DSS}}^{BSchaden}(t) = \{ \vec{f}_{B_i^{DSS}}^{Ex}(t), \vec{f}_{B_i^{DSS}}^{St}(t), f_{B_i^{DSS}}^{Br}(t) \}$  um das Attribut  $f_{B_i^{DSS}}^{Br}(t)$ . Analog dazu ist auch die Glaubwürdigkeit des Schadensumfangs *burned out* von einer Verringerung ausgenommen.

Während Schäden die Ursache für einen Gefahrenbereich beschreiben, sind für die Einordnung seiner Prioritäten auch andere Fakten wie die betroffenen Personen relevant. In einem Simulationsszenario ist jeder Verletzte als eigene Instanz modelliert, was in der Entscheidungsunterstützung weder sinnvoll noch möglich ist. Die direkte Identifikation jedes einzelnen Verletzten und seines Zustandes mit elektronischen Erfassungssystemen wäre ideal, ist allerdings aktuell noch Inhalt von Forschungsarbeiten [GGW+05, GPS+08, MIS+12]. Außerdem ist neben der Zahl der bekannten Verletzten insbesondere die der möglichen Verletzten von Interesse. Auf der operativ-taktischen Entscheidungsebene ist eine nach dem Verletzungsgrad aggregierte Sicht von Interesse. Diese entspricht dem bereits vorgestellten Basismodell, erweitert um die Möglichkeit, mehrere Meldungen zu Verletzten und die sich daraus ergebenden Unsicherheiten zu berücksichtigen. Dazu wird analog zu den Schadensarten jede Triageklasse durch ein Tripel aus Zeitpunkt und Glaubwürdigkeit repräsentiert. Dieses Tripel bezieht sich auf die am wahrscheinlichsten zu erwartende Anzahl von Personen  $o_{erwartet}^{Ta}$  in der jeweiligen Triageklasse  $Ta, a \in [0 \dots 5]$ . Zusätzlich werden die Werte  $o_{max}^{Ta}$  für die maximale Anzahl und  $o_{min}^{Ta}$  für die minimale Anzahl erfasst, ohne deren Glaubwürdigkeit zu beurteilen. Das erweiterte Modell beschreibt die Anzahl von Personen in einer Klasse  $Ta$  durch

$$f_{U_i^{DSS}}^{Ta}(t) = \begin{pmatrix} o_{max}^{Ta} \\ o_{erwartet}^{Ta}, r, t_L \\ o_{min}^{Ta} \end{pmatrix}. \quad (5.12)$$

Neben den Ergänzungen zur Modellierung von Fakten kennen die Entscheidungsunterstützungsagenten eine weitere Menge von Attributen  $A_{B_i}^{DSS}$  für ein Gebäude. Darin enthalten ist die Höhe der Stockwerke  $a_{B_i}^{SH}$ , die Anzahl der Appartements  $a_{B_i}^W$ , eine sekundäre Nutzungsklasse  $a_{B_i}^{NKb}$  sowie die Fläche der primären  $a_{B_i}^{ANK}$  und sekundären Nutzungsklasse  $a_{B_i}^{ANKb}$ . Diese Informationen dienen u. a. dazu, die Anzahl der im Gebäude anwesenden Personen abzuschätzen.

### 5.3.4. Sonstiges

Die vorgestellten Fakten beschreiben primär das für die Entscheidungsunterstützung und Simulation verwendete Umweltmodell. In anderen Systemkomponenten außerhalb des Fokus der Arbeit, wie z. B. der Benutzungsoberfläche, sind zusätzliche Informationen wie der Name einer Straße oder die Adresse eines Gebäudes verfügbar. Soll das Modell um andere Gefahrenquellen erweitert werden, müssen deren Gefahrentypen und Schadensklassen ergänzt werden. Bei der Anpassung des DMT für Hochwasserereignisse wurde u. a. eine Schadensklasse zur Beschreibung des am Gebäude anstehenden Hochwassers hinzugefügt. Da das Datenmodell und seine Implementierung modular gestaltet sind, lassen sich Erweiterungen und neue Elemente mit geringem Aufwand ergänzen.

## 5.4. Verarbeitung eingehender Informationen

Das in Abschnitt 5.2 dargestellte Format für Meldungen ermöglicht den Austausch von Daten zwischen den Komponenten des DMT sowie mit externen Systemen. Die Auswertung dieser Daten und deren Übertragung in das zuvor beschriebene Datenmodell werden im Weiteren erläutert. Es ist zu beachten, dass die Verarbeitung von Informationen über ein Objekt nur Auswirkungen auf die zugehörigen Fakten  $F_O(t)$  hat, nicht aber auf seine initialen Eigenschaften  $A_O$ . Vor den Methoden zur Auswertung unscharfer Informationen wird die Auswirkung von Meldungen auf Elemente des Basismodells erläutert. Der letzte Schritt der Kette, die Verarbeitung der resultierenden Informationen bei der Entscheidungsunterstützung wird in Kapitel 7 beschrieben.

### 5.4.1. Umwelt

Der Zustand eines Umweltobjektes im Datenmodell wird durch seine Fakten repräsentiert. Diese beschreiben vorliegende Schäden und daraus resultierende Gefahrenquellen. Daher kann sich der Zustand eines Umweltobjektes im Modell nur aufgrund von Schadensereignissen ändern (siehe Unterabschnitt 5.2.2). Eine Ausnahme stellen Simulationsagenten der Umwelt dar, in denen der Zustand eines Objektes durch den Simulator bestimmt und verändert wird. Lässt man Unschärfe außen vor, wird

immer die Meldung mit dem jüngsten Datum als Fakt im Hinblick auf einen Gefahrentyp übernommen:

- Die in allen Umweltobjekten vorhandene Schadensbeschreibung für Verletzte  $f_{U_i}^{PSchaden}(t)$  wird auf Basis des letzten *DamageReportHumanCasualties* bestimmt. Als Quelle für die Anzahl der Betroffenen  $f_{U_i}^{PersB}(t)$  und Geschädigten  $f_{U_i}^{PersG}(t)$  sowie für die Anzahl der Geschädigten nach Triageklassen  $f_{U_i}^{T0}(t)$  bis  $f_{U_i}^{T4}(t)$  können zwei dieser Meldungen dienen.
- Ein *DamageReportBuilding* enthält die Fakten zu strukturellen Schäden in  $f_{B_i}^{ESchaden}(t)$ . Da in den Meldungen und im Datenmodell die Schadensklassen übereinstimmen, kann der Schaden direkt aus der jüngsten Schadensmeldung übernommen werden.
- Eine Meldung vom Typ *DamageReportFire* liefert die Werte für Brandschäden in  $f_{B_i}^{St}(t)$  und  $f_{B_i}^{Ex}(t)$ . Da auch hier die gleichen Klasseneinteilungen in den Meldungen und in dem Modell verwendet werden, wird analog zu den strukturellen Schäden verfahren.
- Die Information  $f_{E_i}^{SSchaden}(t)$ , ob eine Straße blockiert ist, wird anhand eines *DamageReportInfra* übermittelt. Weitere Details, wie sie im Datenmodell der Simulation in  $\bar{f}_{E_i}^{SSchaden}(t)$  vorgesehen sind, werden in einer Meldung vom Typ *DamageReportBlock* übertragen.

Im Fall einer Kommunikation zwischen Simulationsagenten ist die dargestellte einfache Auswertung von Meldungen ausreichend, da keine Unschärfen betrachtet werden. Sind aber Meldungen von menschlichen Akteuren aus einer realen Umwelt der Ursprung von Fakten, enthalten diese Unschärfe, die bei der Auswertung zu berücksichtigen ist.

### 5.4.2. Ressourcen

Die Meldungen über den Status einer Ressource durch sie selbst wird als sicher betrachtet, weshalb Unschärfe nicht berücksichtigt werden muss. Daher ist die Verarbeitung des Ressourcenstatus in allen Komponenten des DMT einheitlich. Entsprechend der Darstellung in Abbildung 5.5 wird der Status einer Einheit  $f_{R_i}^{Status}(t)$  (siehe Unterunterabschnitt 5.3.1.2) anhand von *ReportOperationalStatus* Meldungen geführt.

Zu Beginn ist der Status jeder Einheit unbekannt (*unknown*). Erst mit einem *ReportResourceAvailable* wechselt er auf verfügbar (*available*). Handelt es sich um eine externe Ressource, die bisher nicht im System bekannt ist, wird sie außerdem in der Datenbasis angelegt. Dies ist nötig, da externe Ressourcen, die in der vorbereiteten Planung nicht vorgesehen waren, nicht in der Systemdatenbank abgelegt sind (siehe Kapitel 9). Um eine neue Ressource dem System bekannt zu machen, müssen im *ReportResourceAvailable* deren beschreibende Attribute  $S_{R_i}$  enthalten sein. Darauf basierend erfolgt ein neuer Eintrag bei den aktiv verfügbaren Ressourcen.

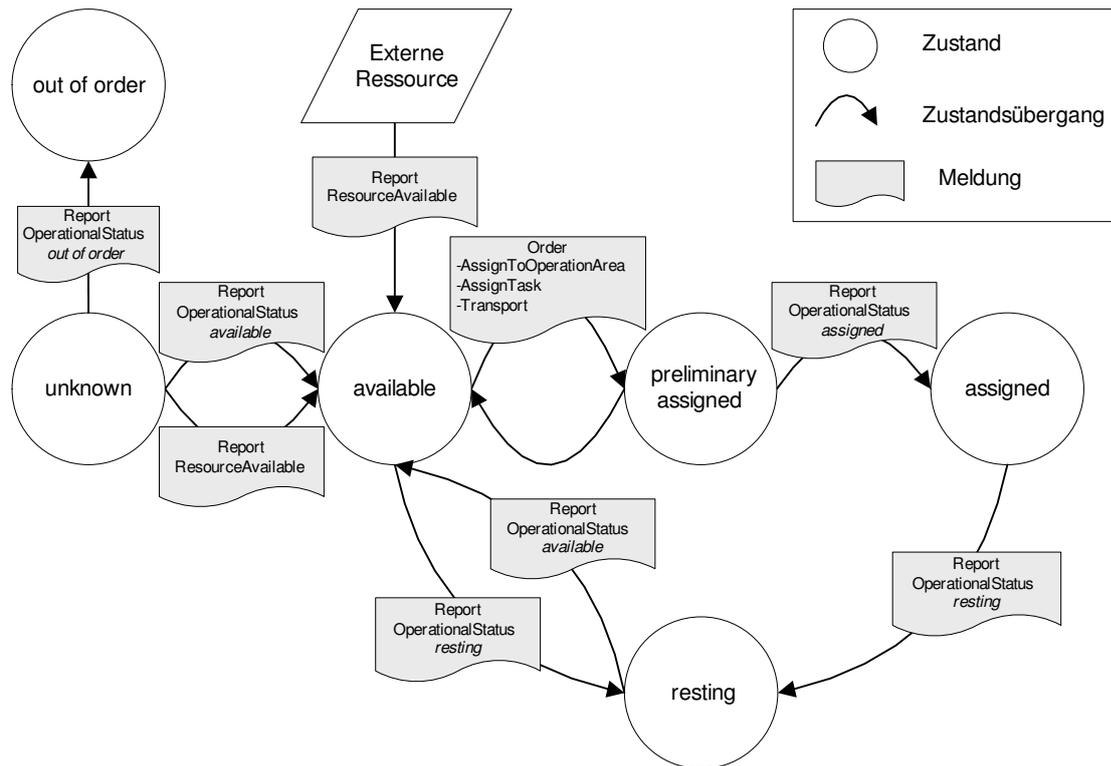


Abbildung 5.5.: Bestimmung des aktuellen Ressourcenstatus

Die im System angemeldeten Ressourcen teilen ihren Status über einen *ReportOperationalStatus* mit. Der im System geführte Status  $f_{R_i}^{Status}(t)$  und die Position der Ressourcen  $f_{R_i}^{Pos}(t)$  entsprechen der letzten Meldung. Ist eine Ressource dauerhaft nicht mehr verfügbare, z. B. aufgrund eines Defektes, meldet sie den Status *out of order*. Wird einer Ressource über einen *OrderAssignTask* der Befehl zum Ausruhen gegeben, quittiert sie dies durch den Status *resting*, nachdem sie in der Ruhezone eingetroffen ist. Solange eine Ressource auf dem Weg zu einem Ort oder Einsatz ist, meldet sie den Status *assigned*. Keine Entsprechung in einer *ReportOperationalStatus*-Meldung hat der Status *preliminary assigned*, der intern bei den Agenten zur Entscheidungsunterstützung verwendet wird. Einheiten, die in einem Befehl zum Versenden vorgesehen sind, werden dadurch für eine Zuordnung gesperrt, bis der Befehl entweder versendet und bestätigt oder zurückgezogen wurde. Nach dem Versenden erhält die Ressource den Status der Bestätigungsmeldung. Wird der Befehl zurückgezogen, wechselt der Status zurück auf *available*. Den Zeitpunkt, seitdem eine Ressource aktiv ist, enthält  $f_{R_i}^{AktivSeit}(t)$ . Er wird gesetzt, wenn der Status einer Ressource zum ersten Mal von *available* auf *assigned* wechselt und bisher unbelegt war. Er wird zurückgesetzt, nachdem der Status der Einheit auf *resting* wechselt. Bei der Änderung von *resting* auf *available*, was im realen Einsatz nach einer vorgegebenen Dauer für eine Ruhepause geschieht, ist die Ressource wieder *available*. Beim nächsten Statuswechsel auf *assigned* wird  $f_{R_i}^{AktivSeit}(t)$  von Neuem gesetzt.

### 5.4.3. Unschärfe Informationen

Wie in Kapitel 4 erläutert stellt die Unschärfe der verfügbaren Informationen ein Problem dar. Dazu kommt, dass die Zuverlässigkeit der Informationen nicht statisch ist, sondern sich im Zeitverlauf verschlechtern kann. Selbst Beobachtungen mit einer initial geringen Unschärfe können altern, wodurch die Unschärfe zunimmt. Diese Faktoren berücksichtigt das Modell des DMT mit einem Fuzzy-Logik-Ansatz.

#### 5.4.3.1. Vorgehen bei der Modellbildung

Die Unschärfe von Information kann mehrere Ursachen haben, die aber in der menschlichen Wahrnehmung meist zu einer Bewertung zusammengeführt werden. Diese wird im Weiteren mit dem Begriff *Glaubwürdigkeit* bezeichnet. Um die Komplexität der Auswertung und den Umfang der Regeln bei der Entscheidungsunterstützung zu reduzieren und die Interaktion mit dem Anwender zu erleichtern, arbeitet das vorliegende Modell bei der Bewertung der Unschärfe ebenfalls mit einem Wert für die Glaubwürdigkeit. Diese Reduktion sowie die Aktualisierung anhand neuer Informationen erfolgt durch Fuzzy-Regeln. Eine Einführung in den Themenbereich und die Begrifflichkeiten der Fuzzy Logik und der Fuzzy-Regeln bietet Abschnitt A.1. Erfasst werden können Fuzzy-Regeln anhand von daten- oder expertengetriebenen Methoden [Lip06b].

Für den Einsatz der *datengetriebenen* (data-driven) Methode muss eine umfangreiche Menge an geeigneten Beispielen als Ausgangsbasis der Modellierung vorliegen. Diese wird mit mathematischen Methoden analysiert und klassifiziert, um aus den Ergebnissen die Regeln abzuleiten. Die Beispieldaten sollten die möglichen Fälle im zu modellierenden Problemkomplex gleichmäßig Abdeckung. Vor allem sollten auch alle „Randfälle“ abgedeckt sein, damit sichergestellt ist, dass ein auf diesen Daten basierendes Modell auch hier ein korrektes Verhalten zeigt.

Bei der *expertengetriebenen* (expert-driven) Methode wird das Wissen von menschlichen Experten in Regeln abgebildet. Ist der Experte nicht zugleich der Entwickler des Modells, wird das notwendige Wissen aus Gesprächen oder Befragungen extrahiert. Dies kann z. B. in Form eines Interviews oder Fachgesprächs erfolgen. Problematisch ist hierbei, dass Experten Entscheidungen häufig auf Basis von unbewusstem (impliziten) Wissen treffen (vgl. Kapitel 3). Da es entscheidend für eine korrekte Modellierung des Entscheidungsproblems ist, besteht die Herausforderung darin, dieses Wissen explizit zu machen und zu dokumentieren.

Typisches Anwendungsgebiet für eine datengetriebene Modellbildung sind *Fuzzy-Controller* (siehe Unterabschnitt A.1.3), da sich Datensätze durch Messungen von Eingangswerten und den sich ergebenden Ausgangsgrößen leicht erstellen lassen. Im vorliegenden Fall der Bewertung verbaler Aussagen, denen keine Messgrößen zugeordnet werden können, ist ein expertengetriebenes Vorgehen nötig. Dazu wurden in Gesprächen mit Personen aus dem Zivilschutz zunächst Quellen für Unschärfe bestimmt und verbal beschrieben. Die Ermittlung der Regeln erfolgte anhand weiterer

Gespräche und Interviews. Zwar ist der Komplex einer Bewertung der Glaubwürdigkeit von Aussagen ein allgemeines Problem, das beschriebene Modell wurde aber mit Fokus auf die Situation im Rahmen einer Katastrophenbewältigung erstellt. Es hat nicht den Anspruch, auf Probleme der Glaubwürdigkeit in anderen Bereichen angewendet werden zu können.

### 5.4.3.2. Merkmale der Glaubwürdigkeit

Die Glaubwürdigkeit einer Information ist ausschlaggebend für ihre Auswertung und die daraus resultierenden Entscheidungen. Die Bewertung der Glaubwürdigkeit der Aussage eines Menschen durch einen anderen erfolgt meist intuitiv und ist daher schwer objektiv zu quantifizieren. Das Modell der Arbeit basiert auf Fuzzy-Mengen. Es beschreibt die Glaubwürdigkeit von Aussagen durch zwei unabhängige Merkmale, die *Qualifikation des Beobachters*, der sie trifft, und die *Einschätzung der Qualität der Beobachtung* durch den Beobachter selbst. Diese beiden qualitativen Merkmale werden anhand von Begriffen klassifiziert. Zur Bestimmung der Glaubwürdigkeit wird außerdem noch der *Zeitraum seit der Beobachtung* mit einbezogen. In der Fuzzy Logik stellen die Einschätzungen *linguistische Variablen* dar und die sie beschreibenden Begriffe *linguistische Terme*. Da die Bedeutung von Begriffen im Verständnis verschiedener Menschen nicht überschneidungsfrei ist, sind auch die Fuzzy-Mengen dieser Terme nicht disjunkt und können sich überschneiden. Vor der Beschreibung ihrer mathematischen Modellierung werden die linguistischen Terme in den folgenden Absätzen vorgestellt.

Die *Qualifikation des Beobachters* wird meist durch den dessen Meldung annehmenden Disponenten in der Einsatzleitstelle beurteilt. Die linguistische Variable der Qualifikation eines Beobachters  $L_{skill}$  wird den Termen *expert*, *reliable* und *unreliable* zugeordnet. Diese Einteilung erfolgt entweder automatisch, falls die Meldung von Feldkräften über das elektronische Meldesystem aufgenommen wurde, oder durch einen Disponenten, falls es sich um eine externe Quelle handelt. Im ersten Fall wird die Qualifikation aufgrund der Rolle der meldenden Einheit gewählt. Alle Einsatzkräfte sind als Experten (Term *expert*) eingeordnet. Hilfskräfte werden als zuverlässige Informationsquellen (Term *reliable*) angesehen. Die Einordnung durch den Disponenten erfolgt aufgrund seiner Berufserfahrung. Bei Meldungen von Zivilisten wird nur zwischen *reliable* und *unreliable* unterschieden.

Ausgehend vom Beobachter erfolgt die Bewertung der *Qualität der Beobachtung*. In der linguistischen Variable  $L_{quality}$  werden die Termen *inspection*, *likely*, *range*, *possible* und *unlikely* unterschieden. Erfolgt die Aufnahme durch einen Disponenten, muss dieser auf Basis der Befragung des Meldenden den Term auswählen. Die höchste Qualitätsstufe *inspection* entspricht einer Beobachtung, bei der die gemeldete Position und der Fakt sehr sicher sind. Mit *range* steht eine Zuordnung aufgrund einer unsichereren Beobachtungsposition zur Verfügung. Die weiteren Stufen *likely*, *possible* und *unlikely* entsprechen der typischen Einschätzung einer Aussage im allgemeinen Sprachgebrauch.

Auch der vergangene *Zeitraum seit der Beobachtung* kann bei Beobachtungen für Unschärfe sorgen. Die vergangene Zeit wird in der linguistischen Variablen  $L_{loss}$  beschrieben, bei der zwischen den Terme *current*, *up\_to\_date*, *old* und *outdated* unterschieden wird. Der Verlust von Glaubwürdigkeit wird nicht als konstant angesehen, sondern durch die Variable  $L_{lossExtent}$  beschrieben welche, abhängig von der Art der Beobachtung, die zunehmende Unschärfe in die Terme *no*, *normal* und *high* unterteilt. Während sich die Zuverlässigkeit der Meldung eines strukturellen Schadens so gut wie nie ändert ( $L_{lossExtent} = no$ ), da sich dieser Gefahrentyp fast nur durch äußere Einflüsse wie z. B. ein Nachbeben verschlechtern kann,<sup>7</sup> ist ein aktives Feuer in einem Gebäude ein dynamisches Ereignis, welches sich im Zeitverlauf signifikant verändert ( $L_{lossExtent} = high$ ).

Ob eine detailliertere Partitionierung die Genauigkeit der Abbildung linguistischer Variablen verbessert, ist eine Frage, die sich bei ihrer Modellierung häufiger stellt. Mehr linguistische Terme, die kleinere Intervalle der Referenzmenge abdecken, führen zunächst zu einer genaueren Einteilung. Die Abgrenzung der Terme wird allerdings im Gegenzug unschärfer und die Einteilung durch den Menschen schwieriger, wodurch sich in Summe oft keine Verbesserung der Genauigkeit ergibt. Die Modellierung ist daher auch die Suche nach einem optimalen Kompromiss.

Für systemintern verwendete Prognosen und Simulationsergebnisse sind weitere linguistische Terme definiert, die dem menschlichen Anwender nicht angezeigt werden. Wie in Unterabschnitt 6.2.4 erläutert, kann eine Schadenssimulation den Mangel an Informationen zu Beginn einer Schadenslage teilweise kompensieren. Die Daten müssen allerdings von den auf realen Beobachtungen beruhenden Fakten abgegrenzt sein. Innerhalb der Qualifikation eines Beobachters  $L_{skill}$  ist dafür der linguistische Term *simulation* verfügbar, der für Fakten gesetzt wird, die auf Simulationsergebnissen beruhen. Auch Simulationsszenarien, die während einer Katastrophenbewältigung berechnet werden, werden so von der realen Lage unterschieden. Um das Ergebnis einer Schadenssimulation, wie z. B. durch den Erdbebensimulator EQSIM, qualitativ beurteilen zu können, muss die Eintrittswahrscheinlichkeit der Schäden bekannt sein. Dazu wurde die Qualität der Beobachtung  $L_{quality}$  um die Terme *potential low*, *potential medium* und *potential high* ergänzt. Die drei Klassen repräsentieren die aufsteigend geordnete Wahrscheinlichkeit, dass der damit beschriebene Schaden bei der Simulation des gegebenen Szenarios eingetreten ist.

### 5.4.3.3. Glaubwürdigkeit

Anhand der Qualifikation des Beobachters  $L_{skill}$  und der Qualität seiner Beobachtung  $L_{quality}$  wird die initiale Glaubwürdigkeit einer Meldung ermittelt. Diese verschlechtert sich, abhängig von der Art der Beobachtung  $L_{lossExtent}$ , über die Zeit  $L_{loss}$ . Ergebnis ist die *Glaubwürdigkeit einer Aussage*, welche durch die linguistische

<sup>7</sup>Da die Phase der Katastrophenbewältigung nur wenige Tage andauert, wird der Fall, dass sich ein struktureller Schaden ohne äußeren Einfluss im Zeitverlauf ausweitet, hier nicht betrachtet.

Variable  $L_{reliability}$  mit den Termen *certain*, *high confidence*, *medium confidence*, *low confidence* sowie *unlikely* beschrieben wird. Bei dem Ergebnis einer Simulation werden die drei Ausprägungen *low probability*, *medium probability* und *high probability* unterschieden. Wie im letzten Kapitel erläutert ist für jede Schadensklasse eine entsprechende Glaubwürdigkeit  $r \in L_{reliability}$  festgelegt. Innerhalb des Systems ist sie als Fuzzy-Menge gespeichert. Diese wird zur Darstellung und zum Vergleich durch Defuzzifizierung auf einen Zahlenwert abgebildet oder durch einen linguistischen Term repräsentiert.

#### 5.4.3.4. Definition der linguistischen Variablen

Die Referenzmenge  $G_{100}$  der linguistischen Variablen  $L_{skill}$ ,  $L_{quality}$  und  $L_{reliability}$  ist auf einer reellwertigen Basisskala  $G_{100} = \{x | x \in \mathbb{R} \wedge 0 \leq x \leq 100\}$  definiert. Die Skala soll eine verständliche und einheitliche Modellierung ermöglichen und könnte beliebig anders gewählt werden. Obwohl die Referenzmenge es nahelegt, gibt es keinen direkten Bezug zu prozentualen Werten. Eine umgangssprachliche Interpretation des Wertes 80 bei der Qualifikation des Beobachters als „80 % Experte“ wäre falsch.

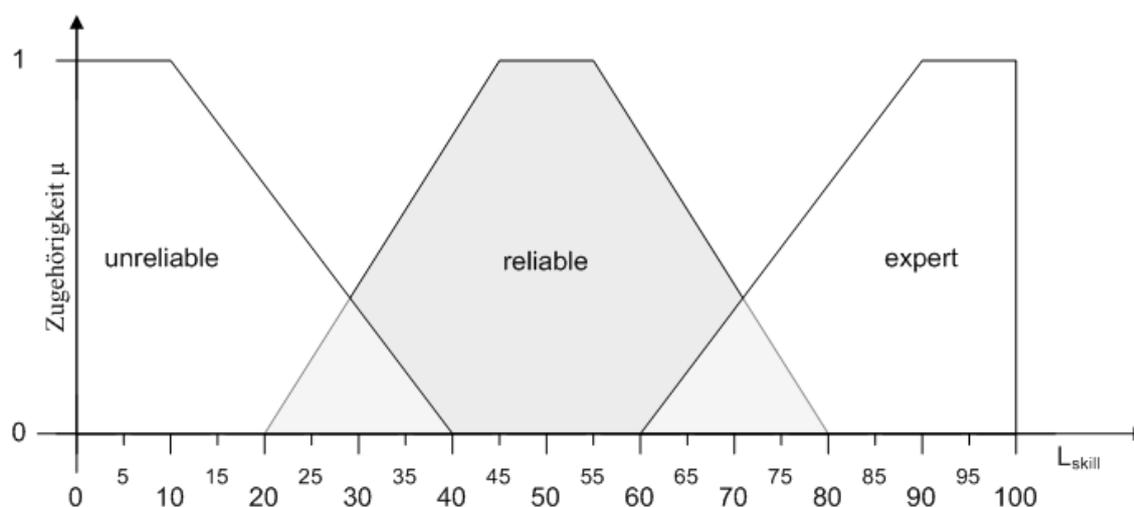


Abbildung 5.6.: Qualifikation eines Beobachters

Die Zugehörigkeitsfunktionen (siehe Abbildung 5.6) der linguistischen Variable  $L_{skill}$ , welche die Qualifikation des Beobachters repräsentieren, sind:

$$\bullet \text{ expert} := \mu_{F_{\text{expert}}}(x) = \begin{cases} 0 & , \text{ falls } x \leq 60 \\ \frac{x-60}{30} & , \text{ falls } 90 > x > 60 \\ 1 & , \text{ falls } x \geq 90 \end{cases}$$

$$\bullet \text{ reliable} := \mu_{F_{\text{reliable}}}(x) = \begin{cases} \frac{x-20}{25} & , \text{ falls } 45 > x > 20 \\ 1 & , \text{ falls } 45 \leq x \leq 55 \\ \frac{80-x}{25} & , \text{ falls } 55 < x < 80 \\ 0 & , \text{ sonst} \end{cases}$$

$$\bullet \text{ unreliable} := \mu_{F_{\text{unreliable}}}(x) = \begin{cases} 1 & , \text{ falls } x \leq 10 \\ \frac{40-x}{30} & , \text{ falls } 40 > x > 10 \\ 0 & , \text{ falls } x \geq 40 \end{cases}$$

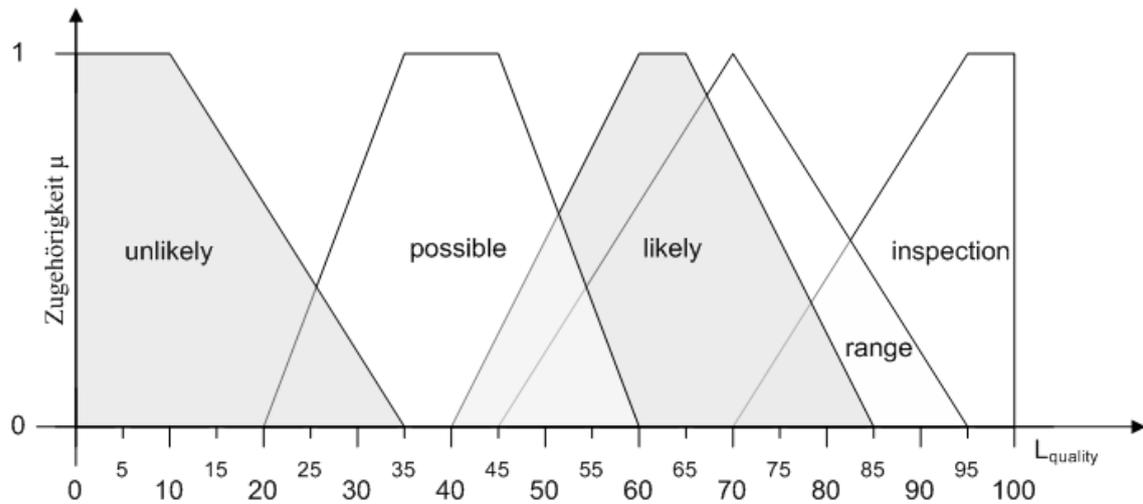


Abbildung 5.7.: Qualität einer Beobachtung

Die linguistischen Terme (siehe Abbildung 5.7) der Variable zur Beschreibung der Qualität einer Beobachtung  $L_{\text{quality}}$  sind:

$$\bullet \text{ inspection} := \mu_{F_{\text{inspection}}}(x) = \begin{cases} 0 & , \text{ falls } x \leq 70 \\ \frac{x-70}{25} & , \text{ falls } 95 > x > 70 \\ 1 & , \text{ falls } x \geq 95 \end{cases}$$

$$\bullet \text{ range} := \mu_{F_{\text{range}}}(x) = \begin{cases} \frac{x-45}{25} & , \text{ falls } 70 > x > 45 \\ \frac{70-x}{25} & , \text{ falls } 70 \leq x < 95 \\ 0 & , \text{ sonst} \end{cases}$$

$$\bullet \text{ likely} := \mu_{F_{\text{likely}}}(x) = \begin{cases} \frac{x-40}{20} & , \text{ falls } 60 > x > 40 \\ 1 & , \text{ falls } 60 \leq x \leq 65 \\ \frac{65-x}{20} & , \text{ falls } 65 < x < 85 \\ 0 & , \text{ sonst} \end{cases}$$

- $$possible := \mu_{F_{possible}}(x) = \begin{cases} \frac{x-20}{15} & , \text{ falls } 35 > x > 20 \\ 1 & , \text{ falls } 35 \leq x \leq 45 \\ \frac{45-x}{15} & , \text{ falls } 45 < x < 60 \\ 0 & , \text{ sonst} \end{cases}$$
- $$unlikely := \mu_{F_{unlikely}}(x) = \begin{cases} 1 & , \text{ falls } x \leq 10 \\ \frac{40-x}{30} & , \text{ falls } 40 > x > 10 \\ 0 & , \text{ falls } x \geq 40 \end{cases}$$

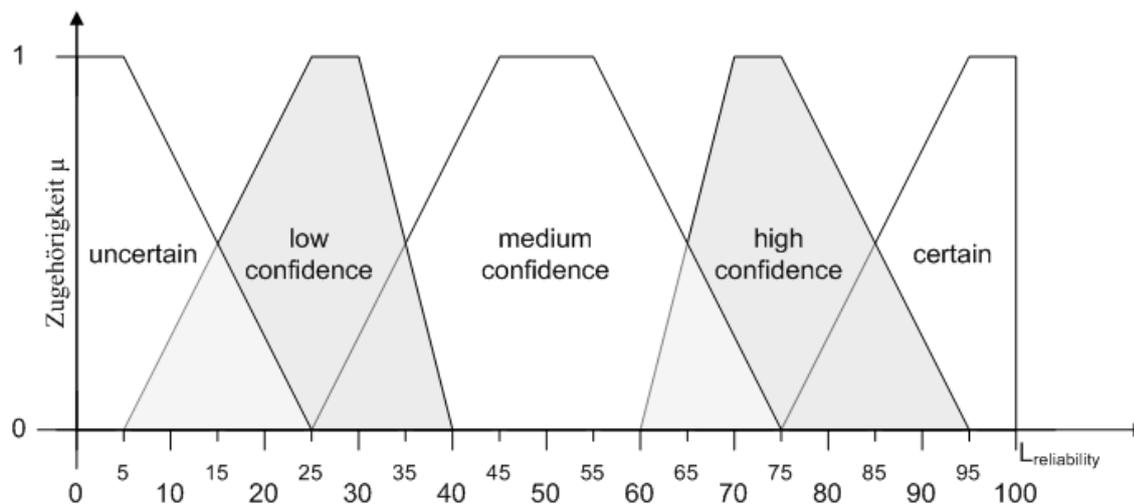


Abbildung 5.8.: Glaubwürdigkeit einer Aussage

Die Zugehörigkeitsfunktionen (siehe Abbildung 5.8) der linguistischen Variable bezüglich der Glaubwürdigkeit einer Aussage  $L_{reliability}$  sind definiert als:

- $$certain := \mu_{F_{certain}}(x) = \begin{cases} 0 & , \text{ falls } x \leq 75 \\ \frac{x-75}{20} & , \text{ falls } 95 > x > 75 \\ 1 & , \text{ falls } x \geq 95 \end{cases}$$
- $$high\ confidence := \mu_{F_{highconf}}(x) = \begin{cases} \frac{x-60}{10} & , \text{ falls } 70 > x > 60 \\ 1 & , \text{ falls } 70 \leq x \leq 75 \\ \frac{75-x}{20} & , \text{ falls } 75 < x < 95 \\ 0 & , \text{ sonst} \end{cases}$$
- $$medium\ confidence := \mu_{F_{medconf}}(x) = \begin{cases} \frac{x-25}{20} & , \text{ falls } 45 > x > 25 \\ 1 & , \text{ falls } 55 \leq x \leq 45 \\ \frac{55-x}{20} & , \text{ falls } 55 < x < 75 \\ 0 & , \text{ sonst} \end{cases}$$

$$\begin{aligned}
\bullet \text{ low confidence} &:= \mu_{F_{lowconf}}(x) = \begin{cases} \frac{x-5}{20} & , \text{ falls } 25 > x > 5 \\ 1 & , \text{ falls } 25 \leq x \leq 30 \\ \frac{30-x}{10} & , \text{ falls } 30 < x < 40 \\ 0 & , \text{ sonst} \end{cases} \\
\bullet \text{ unlikely} &:= \mu_{F_{unlikely}}(x) = \begin{cases} 1 & , \text{ falls } x \leq 5 \\ \frac{5-x}{20} & , \text{ falls } 25 > x > 5 \\ 0 & , \text{ falls } x \geq 25 \end{cases}
\end{aligned}$$

Ergänzend zu den Variablen zur Beschreibung der Glaubwürdigkeit realer Beobachtungen sind die von Simulationsergebnissen wie folgt definiert:

- *high probability* :=  $F_{highprob} = -75$
- *medium probability* :=  $F_{medprob} = -50$
- *low probability* :=  $F_{lowprob} = -25$

Die Werte sind im negativen Bereich und damit außerhalb der Skala für Glaubwürdigkeit realer Beobachtungen. Es wird sichergestellt, dass Fuzzy-Regeln zur Veränderung der Glaubwürdigkeit nie auf Simulationsergebnisse angewendet werden. Bei Auswertungsregeln stellen die negativen Werte sicher, dass Vergleiche immer zugunsten der realen Informationen ausfallen.

Der Referenzmenge  $G_{time}$  der linguistischen Variablen  $L_{timeLoss}$  liegt eine reellwertige Basisskala von 0 bis  $\infty$  zugrunde ( $G_{time} = \{x | x \in \mathbb{R} \wedge 0 \leq x\}$ ). Diese repräsentiert die Zeit in Minuten, die seit einer Beobachtung vergangen ist. Die Zugehörigkeitsfunktionen der linguistischen Terme von  $L_{timeLoss}$  sind definiert als:

$$\begin{aligned}
\bullet \text{ current} &:= \mu_{F_{current}}(x) = \begin{cases} 1 & \text{falls } x \leq 30 \\ \frac{30-x}{30} & \text{falls } 60 > x > 30 \\ 0 & \text{falls } x \geq 60 \end{cases} \\
\bullet \text{ up\_to\_date} &:= \mu_{F_{uptodate}}(x) = \begin{cases} \frac{x-30}{30} & \text{falls } 60 > x > 30 \\ 1 & \text{falls } 60 \leq x \leq 120 \\ \frac{120-x}{40} & \text{falls } 120 < x < 160 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \\
\bullet \text{ old} &:= \mu_{F_{old}}(x) = \begin{cases} \frac{x-120}{40} & \text{falls } 160 > x > 120 \\ 1 & \text{falls } 160 \leq x \leq 240 \\ \frac{240-x}{120} & \text{falls } 240 < x < 360 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \\
\bullet \text{ outdated} &:= \mu_{F_{outdated}}(x) = \begin{cases} 1 & \text{falls } x \geq 360 \\ \frac{x-240}{120} & \text{falls } 360 > x > 240 \\ 0 & \text{falls } x \leq 240 \end{cases}
\end{aligned}$$

Die Variable  $L_{degExtend}$  besteht aus den vier Termen  $DEG1$  bis  $DEG4$ . Die Terme gehen als Konstanten für die Minderung der Glaubwürdigkeit in Folge verstrichener Zeit in die entsprechenden Fuzzy-Regeln ein. Um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten, ist die Summe der Gewichtungen auf eins normiert ( $DEG1 + DEG2 + DEG3 + DEG4 = 1$ ). Im DMT kommt diese Minderung nur für Schadensmeldungen im Zusammenhang mit Feuern mit den folgenden Werten zum Einsatz:  $DEG1 \dots 4 = \{0.4, 0.2, 0.2, 0.2\}$ .

### 5.4.3.5. Fuzzy-Regelbasis

Die Fuzzy-Regelbasis des DMT wird genutzt zur Verarbeitung unscharfer Informationen über den Zustand von Objekten der Katastrophenumwelt. Die Regeln basieren auf plausiblen Annahmen und Gesprächen mit im Zivilschutz tätigen Personen. Die Regeln lassen sich in drei Blöcke gliedern: (1) den Block *FactReliabilityCalculation*, in welchem die Glaubwürdigkeit eingehender Meldungen berechnet wird, (2) den Block *ReliabilityDegeneration*, welcher die Minderung der Glaubwürdigkeit einer Meldung über die Zeit darstellt, und (3) den Block *FactReliabilityCombination*, welcher die Glaubwürdigkeit von zwei unterschiedlichen Meldungen über die gleiche Beobachtung zusammenfasst. Jeder Regelblock besteht aus einer Menge von Eingangsvariablen, einer Liste von Wenn-Dann-Regeln und einer Menge von Ausgangsvariablen.

Im Block *FactReliabilityCalculation* wird die Glaubwürdigkeit einer eingehenden Meldung durch die Kombination der Qualifikation des Beobachters mit der Qualität der Beobachtung bewertet. Entsprechend sind die Eingangsvariablen die *ObserverQualifikation* und *ObservationQuality*, wobei die Mengen den Definitionen der linguistischen Variablen  $L_{skill}$  und  $L_{quality}$  entsprechen. Ihre Eingangswerte ergeben sich aus den analog zu den linguistischen Termen bezeichneten Werten in der Schadensmeldung (vgl. Unterabschnitt 5.2.2). Auf Basis dieser Daten erfolgt ein Fuzzy-Inferenz-Schluss (vgl. Abschnitt A.1.3). Für die Aktivierung der Regeln kommt das Minimumverfahren zum Einsatz und für ihre Aggregation der Maximumoperator. Im Anhang unter Abschnitt A.7 werden die verwendeten Regeln im Detail aufgelistet; das Ergebnis der Fuzzy-Inferenz ist die als *FactReliability* bezeichnete Fuzzy-Menge der linguistischen Variablen  $L_{reliability}$ .

Bei der Bestimmung der *FactReliability* von Simulationsergebnissen kommen keine Fuzzy-Regeln zum Einsatz. Es erfolgt eine statische Zuordnung der Form

$$L_{reliability}(L_{skill}, L_{quality}) = \begin{cases} \text{low probability} & , \text{ falls } L_{skill} = \text{simulation} \wedge \\ & L_{quality} = \text{potential low} \\ \text{medium probability} & , \text{ falls } L_{skill} = \text{simulation} \wedge \\ & L_{quality} = \text{potential medium} \\ \text{high probability} & , \text{ falls } L_{skill} = \text{simulation} \wedge \\ & L_{quality} = \text{potential high} \end{cases}$$

Wie bereits erläutert vermindert sich die Glaubwürdigkeit bestimmter Fakten über den Zeitverlauf. Diese Minderung ist im Regelblock *ReliabilityDegeneration* (siehe Unterabschnitt A.7.3) beschrieben. Als Eingangsvariablen dienen die Fuzzy-Mengen *FactReliability* aus der linguistischen Variablen  $L_{reliability}$  mit der Glaubwürdigkeit der letzten Änderung sowie die seitdem verstrichene Zeit *TimeSinceLastUpdate*, eine Instanz der linguistischen Variable  $L_{timeLoss}$ . Die Verringerung ergibt sich durch Berücksichtigung der ursprünglichen Glaubwürdigkeit in Verbindung mit den Multiplikatoren aus  $L_{degExtend}$ . DEG1 gibt den Anteil des ursprünglichen Glaubwürdigkeitswertes am Ergebnis vor. DEG2 bis DEG4 bestimmen den Beitrag der Terme mit geringerer Glaubwürdigkeit. Sollten dabei weniger als drei Terme berücksichtigt werden, wird die Summe der Multiplikatoren in der Fuzzy-Regel wieder auf 1 normiert (vgl. Unterabschnitt A.7.3 „RULE 0310“). Beim Inferenzschluss wird zur Berechnung des Erfüllungsgrades das Minimum bzw. Maximum genutzt. Bei der Bestimmung der zu aktivierenden Regeln kommt das Minimumverfahren zum Einsatz. Die Aggregation der Regeln erfolgt durch die normierte Summe und liefert den Wert der *FactReliabilityDegenerated* aus der linguistischen Variable  $L_{reliability}$  als Ergebnis. Liegt für eine Eingangsvariable  $r$ , die auf einer Beobachtung zum Zeitpunkt  $t$  beruht, eine Berechnung der verminderten Glaubwürdigkeit  $r_{t_1}$  zum Zeitpunkt  $t_1 > t$  vor und erfolgt nun eine Berechnung für den Zeitpunkt  $t_2 > t_1$ , so dienen die Werte der Glaubwürdigkeit  $r$  zum Zeitpunkt  $t$  und  $r_{t_1}$  vom Zeitpunkt  $t_1$  als Eingangsvariablen

Liegen für ein Umweltobjekt mehrere Meldungen gleicher Ausprägung vor, kombiniert der Regelblock *FactReliabilityCombination* (siehe Unterabschnitt A.7.4) die Glaubwürdigkeit zweier Aussagen. Die Glaubwürdigkeitsbeurteilungen sind repräsentiert durch die Eingangsvariablen *LastFactReliability* und *NewFactReliability*. Ermittelt wird die kombinierte maximale Glaubwürdigkeit aus den beiden Variablen. Der Erfüllungsgrad der Regeln wird anhand des Minimums bzw. Maximums berechnet, die Aktivierung mit dem Minimumverfahren bestimmt und die Aggregation erfolgt anhand des Maximumoperators. Das Ergebnis ist die Ausgangsvariable *FactReliabilityCombined* der linguistischen Variable  $L_{reliability}$ .

#### 5.4.3.6. Datenauswertung mit Fuzzy-Regeln

Zur Datenauswertung werden die Fuzzy-Regeln über den in Abbildung 5.9 dargestellten Auswertungsprozess kombiniert. Bei einer neuen Meldung wird zunächst deren Glaubwürdigkeit auf Basis des Regelblocks *FactReliabilityCalculation* bewertet. Das Ergebnis ist die unscharfe Menge *FactReliability*. Danach wird überprüft, ob bereits Fakten zum Gefahrentyps aus der Meldung existieren. Meldungen über Strukturschäden bzw. Feuer werden kombiniert, wenn jeweils die gleiche Ausprägung in der Schadensklasse vorliegt (siehe Zustandsvektoren  $\vec{f}_{B_i^{DSS}}^{ESchaden}(t)$  sowie  $f_{B_i^{DSS}}^{BSchaden}(t)$  von Seite 77 ff.). Sind entsprechende Fakten bereits vorhanden und vermindert sich deren Glaubwürdigkeit über die Zeit, bestimmt dies der Regelblock *ReliabilityDegeneration*. Dieser Schritt entfällt, sollte der Gefahrentyp nicht an Glaubwürdigkeit

verlieren.

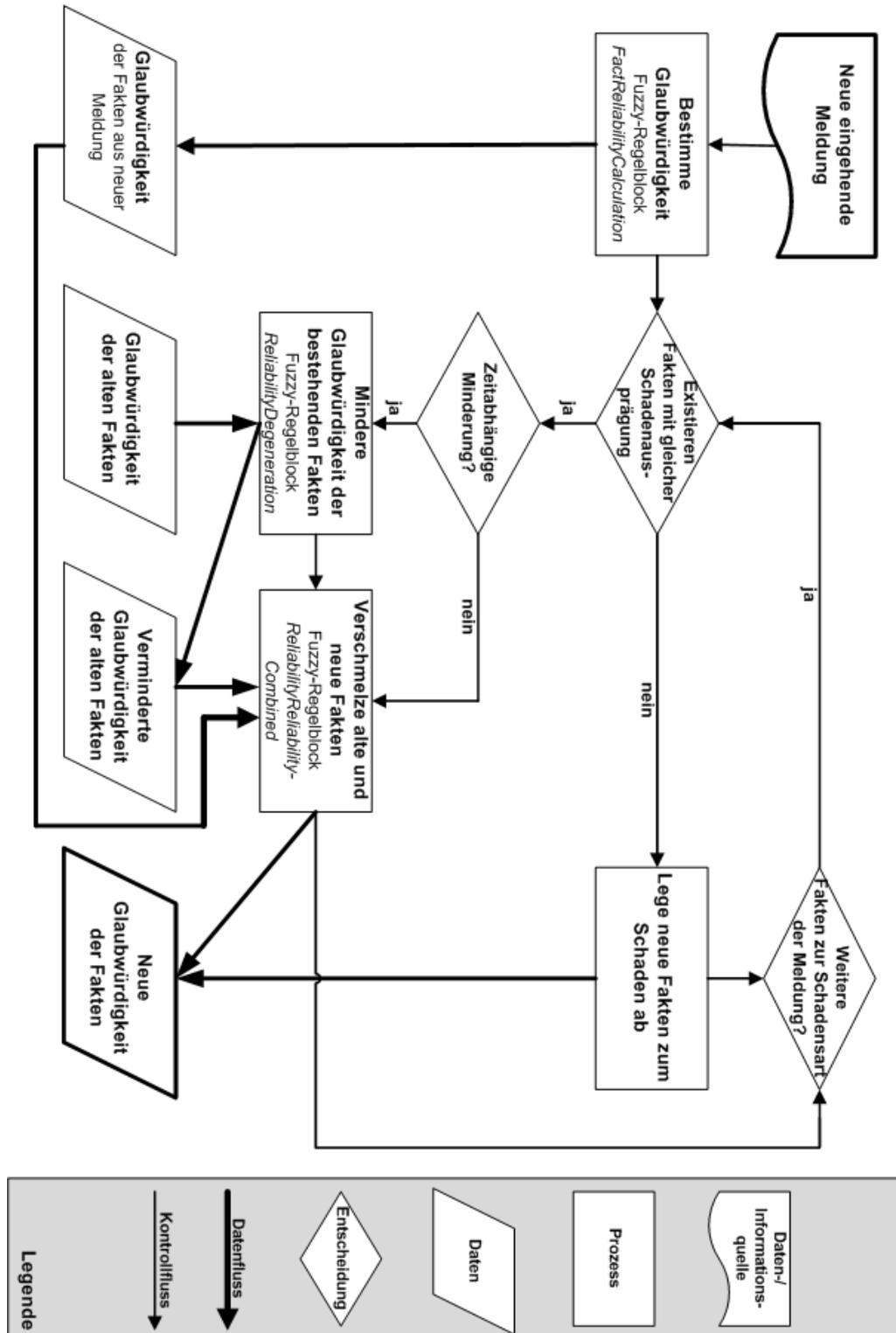


Abbildung 5.9.: Ablauf Fuzzy-Auswertung

Das Ergebnis wird zusammen mit der neuen Meldung über den Regelblock *FactReliabilityCombination* zu einer neuen *FactReliability* für die betrachtete Ausprägung des Gefahrentyps kombiniert. Sollte noch keine entsprechende Meldung existieren, wird das Ergebnis des *FactReliabilityCalculation* Regelblocks direkt als neuer Fakt in Bezug auf den Gefahrentyp abgelegt. Ergebnis des Vorgehens ist ein neuer bzw. aktualisierter Eintrag zur Glaubwürdigkeit der in der Meldung enthaltenen Schadensklasse. Enthält die Nachricht weitere Schadensmeldungen, wird die dargestellte Auswertung mit diesen wiederholt.

Am Beispiel eines *DamageReportFire* zum Zeitpunkt  $t_{neu}$  mit der Brandstärke *moderately burning* und dem bereits entstandenen Schaden *slightly burned* soll das Vorgehen erläutert werden. Unter der Annahme, dass in der Meldung für die ObserverQualification *expert* und die ObservationQuality *inspection* gesetzt sind, ergibt eine Auswertung des Regelblocks *FactReliabilityCalculation* die Fuzzy-Menge  $r_{neu}$ , deren *FactReliability* dem Term *certain* entspricht. Danach wird überprüft, ob für das betroffene Gebäude bereits eine Beobachtung zur Brandstärke *moderately burning* vorliegt. Nun wurde beispielsweise zum Zeitpunkt  $t_{alt}$ , der eine halbe Stunde zurückliegt, diese Stärke des Feuers schon einmal gemeldet; die Glaubwürdigkeit  $r_{alt}$  wurde als *high confidence* eingestuft. Das Maß der Glaubwürdigkeit wird anhand des Regelblocks *ReliabilityDegeneration* aufgrund der vergangenen Zeit vermindert und das Ergebnis über den Block *FactReliabilityCombination* mit der neuen Beobachtung kombiniert. Es ergibt sich eine neue Glaubwürdigkeit ( $r_{alt \cup neu}$ ) von *certain*. Die neue Glaubwürdigkeit ( $r = r_{alt \cup neu}$ ) für die Brandstärke *moderately burning* in  $\bar{f}_{B_i^{DSS}}^{St}(t)$  zum aktuellen Zeitpunkt  $t$  ist somit eine Fuzzy-Menge, die dem linguistischen Term *certain* entspricht. Analog wird mit der Meldung zum bisher entstandenen Schaden *slightly burned* verfahren, wobei die Glaubwürdigkeit  $r_{neu}$  aus dem vorherigen Schritt übernommen wird.

## 5.5. Fakten- und Wissensbasis des DMT

Das vorgestellte mathematische Modell ist die Grundlage für den Aufbau der Datenbasis des DMT. Bei seiner Implementierung waren eine einfache Anpassung an neue Gegebenheiten und eine flexible Realisierung der Logikschicht die Hauptziele. Ein Großteil der Daten ist in einer auf XML basierenden Persistenz, der *Fakten- und Wissensbasis*, abgelegt. Ihre technischen Hintergründe werden in Abschnitt 9.5 beschrieben. Sie ist um neue Datensätze und Regeln sowie frei definierbare Methoden in Java erweiterbar (siehe Unterabschnitt 5.5.2). Die Inhalte der Fakten- und Wissensbasis sollen vor allem von Domänen-Experten ohne Programmiererfahrung verstanden werden. Um intuitiv verständlich zu sein, orientiert sich die Benennung ihrer Elemente an natürlicher Sprache. Bei dem Schema der Bezeichnungen kommt eine Baumstruktur mit Blättern aus Listen von Daten- bzw. Auswertungstermen zum Einsatz. Die Bezeichner der Elemente weisen folgende Struktur auf, wobei einzelne Hierarchieebenen jeweils durch einen Punkt (.) getrennt werden:

*BezeichnerWurzel.BezeichnerErsterInnererKnoten.*  
*BezeichnerZweiterInnererKnoten...* (5.13)  
*Bezeichner(n)terInnererKnoten#BezeichnerListenelement*

Jeder Knoten im Baum spannt einen neuen Sub-Baum auf. Jedes Element im Baum wird durch einen spezifischen Bezeichner referenziert. Im Weiteren wird bei den Sub-Bäumen von einem Namensraum gesprochen. Diese Ebenen werden durch das Zeichen ' ' getrennt. Ein innerer Knoten ist somit von zwei Punkten umschlossen. Ein Blatt besteht aus einer Liste von Termen, die ebenfalls individuelle Bezeichner ausweisen. Ihnen wird eine Raute (#) als Zeichen vorangestellt. Die Terme setzen sich aus Schlüssel-Wert-Paaren zusammen, bei denen eine Zeichenkette als bezeichnender Schlüssel dient und der Wert ein Term der in Unterabschnitt 5.5.1 dargestellten Typen ist. In der Implementierung des DMT sind die Bezeichner im Java-Programmcode sowie die der Terme in der Fakten- und Wissensbasis in englischer Sprache verfasst. Um die durchgängige Lesbarkeit zu erleichtern, wurden sie in der Ausarbeitung zum Großteil ins Deutsche übersetzt.

Die Fakten- und Wissensbasis stellt den technischen Unterbau für die Entscheidungsunterstützung der ADVISOR-Agenten dar. Soweit in verständlicher Form möglich, werden die Auswertungen der Agenten daher in einer Notation beschrieben, die der der Fakten- und Wissensbasis entspricht. Es wird allerdings eine kompaktere Schreibweise gewählt, welche z. B. syntaktische Redundanzen vermeidet, wie sie in XML-Formaten auftreten.

### 5.5.1. Typisierung von Termen

Die Terme in der Fakten- und Wissensbasis des DMT gliedern sich in Auswertungs- und Datenterme. Auswertungsterme können Berechnungen auf Basis arithmetischer Beschreibungen und Fuzzy-Regeln oder auch Wenn-Dann-Regeln enthalten. Die Datenterme speichern die dem System zur Verfügung stehenden Fakten in Variablen, die verschiedene Datentypen aufweisen können. Durch Inferenz-Schlüsse auf diesen Fakten werden neue Fakten sowie die vom System zur Verfügung gestellten Entscheidungshilfen abgeleitet. Die Fakten- und Wissensbasis kennt die folgenden Typen von Termen, die im Weiteren mit hochgestellten Bezeichnern gekennzeichnet sind.

#### **Datenterme**

Aufgrund der Implementierung des DMT in der Programmiersprache Java, entsprechen die Spezifikationen der Datenterm-Typen (Java-)Objektklassen.. Die Typbezeichnungen werden dem Bezeichner des Terms oben angefügt. Die folgenden Typen werden unterschieden:

- *Termbezeichner<sup>F</sup>*: Gleitkommazahl, bei der eine näherungsweise Darstellung einer reellen Zahl mithilfe von Vorzeichen, Mantisse und Exponent erfolgt. Sie entsprechen der Klasse *Double* in Java.
- *Termbezeichner<sup>I</sup>*: Vorzeichenbehafteter Ganzzahlenwert mit endlichem Wertebereich von  $-2^{63} \dots 2^{63} - 1$ , welcher der Klasse *Long* in Java entspricht.
- *Termbezeichner<sup>B</sup>*: Zweiwertige (binäre) boolesche Variable, auf Basis der Klasse *Boolean*.
- *Termbezeichner<sup>T</sup>*: Beliebige lange Folge von Zeichen, die sich der Klasse *String* in Java bedient. Eine Zeichenkette in den Termen des DMT ist von 'Wert' umschlossen.
- *Termbezeichner<sup>L(\*F/I/B/T)</sup>*: Liste aus Schlüssel-Wert-Paaren, wobei der Schlüssel vom Typ *T* ist. Für die Werte kann entweder ein spezifischer Typ vorgegeben sein oder er ist beliebig, was durch einen Stern (\*) als Zeichen dargestellt wird. Die Implementierung nutzt die Java-Klasse *HashMap*.

### Auswertungsterme

Den Auswertungstermen können Parameter übergeben werden, um z. B. festzulegen, auf welches Objekt sich eine Auswertung bezieht. Die Liste der Parameter ist vom Typ  $L(*)$ . Der Ausdruck  $\{P_1, \dots, P_n\}$  steht als Platzhalter für die zu übergebenden Parameter. Die Berechnungs- und Fuzzy-Regeln haben einen, die Wenn-Dann-Regeln beliebig viele Rückgabewerte.

- *Termbezeichner<sup>C</sup>* $\{P_1, \dots, P_n\}^*$ : Berechnungsregel auf Basis arithmetischer sowie weiterer Operationen (siehe Unterabschnitt 5.5.2). Ergebnis ist ein Datenterm beliebigen Typs, außer einer Liste.
- *Termbezeichner<sup>CF</sup>* $\{P_1, \dots, P_n\}^F$ : Fuzzy-Logik-Regelblock, beschrieben in der *Fuzzy Control Language (FCL)*. Ergebnis ist ein Datenterm vom Typ *F*.
- *Termbezeichner<sup>R</sup>* $\{P_1, \dots, P\}^{L(*)}$ : Block aus Wenn-Dann-Regeln, welche über Inferenzschluss ausgewertet werden. Die Regeln können beliebig ineinander verschachtelt sein und Datenterme der Fakten- und Wissensbasis referenzieren. Das Ergebnis der Auswertung ist eine Liste von Datentermen  $L(*)$ .

### 5.5.2. Weitere Operationen

Neben den arithmetischen Operationen (Addition, Subtraktion, Multiplikation, Division) existieren weitere vordefinierte Methoden, welche die Ausdrucksmächtigkeit der Auswertungsterme erhöhen. Um diese Operationen zu kennzeichnen, wird ihnen ein Prozentzeichen (%) vorangestellt. Hochgestellt werden die ihnen zu übergebenden Parameter beschrieben. Verfügbar sind die Methoden

- $\%MAX\{X_1, \dots, X_n\}^F$ , die das Maximum der Werte  $X_1, \dots, X_n$  bestimmt und als Term vom Typ  $F$  zurückgibt;
- $\%MIN\{X_1, \dots, X_n\}^F$ , die das Minimum der Werte  $X_1, \dots, X_n$  als Term vom Typ  $F$  bestimmt;
- $\%EXIST\{L^{L(\star)}, Y^T\}^B$ , die einen Wahrheitswert zurückgibt abhängig davon ob in der referenzierten Liste aus Schlüssel Wertpaaren mit dem Bezeichner  $L$ , ein Schlüssel mit dem Bezeichner  $Y$  existiert;
- $\%SUMME\{X_1, \dots, X_n\}^F$ , welche die Werte der Terme  $X_1, \dots, X_n$  aufsummiert und als Term vom Typ  $F$  zurückgibt;
- $\%ANZAHL\{X^{L(\star)}\}^I$ , die Anzahl der Elemente in der Liste  $X^{L(\star)}$  bestimmt und sie als Term vom Typ  $I$  zurückgibt;
- $\%REF\{X^T\}^*$ , die den Text  $X$ , welcher der in Gleichung 5.13 beschriebenen Struktur eines Bezeichners entsprechen muss, in eine Referenz auf das Element in der Fakten- und Wissensbasis umwandelt.

### 5.5.3. Namensraum

Die Bezeichner der Elemente in der Fakten- und Wissensbasis bauen einen Namensraum mit hierarchischer Struktur auf. Bei der Erläuterung seiner Elemente kommen zur Verkürzung der Schreibweise generalisierende Ausdrücke zum Einsatz. Ein Stern ( $\star$ ) als Zeichen steht für eine beliebig lange Zeichenkette aus Buchstaben und Zahlen. In ihr darf auch ein Punkt '.' als Zeichen, welches unterschiedliche Ebenen des Namensraums trennt, enthalten sein. Ein Backslash ( $\backslash$ ) Zeichen repräsentiert ein exklusives Oder zwischen Zeichenketten, wobei die Zeichenkette mit dem nächsten Punkt (.) oder einer Raute (#) endet. So bedeutet der Ausdruck  $Umw.Geb\backslash Pers\#Var$ , dass entweder  $Umw.Geb\#Var$  oder  $Umw.Pers\#Var$  als Bezeichner verwendet werden können. Die Verknüpfung von zwei Zeichenketten wird deklariert mit einem Zielkreis ( $\oplus$ ) Zeichen. Variablen werden von Dollar (\$) Zeichen umschlossen. Sie sind mit der Zeichenkette in der sie auftauchen verknüpft, der implizite Zielkreis ( $\oplus$ ) wird dabei nur ausgeschrieben, falls dies zum Verständnis notwendig scheint.

#### 5.5.3.1. Wurzelebene

Über den Bezeichner der Wurzelebene wird der Zweck eines Terms festgelegt. In der Implementierung der Fakten- und Wissensbasis erfolgt keine Festlegung darüber, ob in einer Wurzelebene Daten- oder Auswertungsterme abgelegt sind. Um eine Struktur zu wahren, wird im Weiteren der Konvention gefolgt, dass die unterste Ebene eines Namensraumes auch festlegt, welche Typen von Termen dort abgelegt sind. Die folgenden Namensräume werden unterschieden.

## Datenterme

$F(acts)$  enthalten die veränderlichen Fakten zu einem Objekt, welche meist auf sensorischen Wahrnehmungen der Umwelt beruhen. Sie entsprechen  $F_O(t)$  aus dem mathematischen Modell (siehe Unterabschnitt 5.3.1).

$A(tributes)$  sind statische Eigenschaften von Objekten. Diese entsprechen  $A_O$  aus dem Datenmodell.

$P(ferences)$  sind vorgegebene Werte, welche in Auswertungsregeln einfließen und diese beeinflussen. Mit ihnen können Entscheidungen/Ratschläge und somit das Verhalten von Agenten konfiguratив angepasst werden, ohne die Beschreibungen von Regeln zu verändern. Die Werte beinhalten u. a. auch die Textbausteine, welche die natürlichsprachlichen Ratschläge und Erläuterungen der Agenten enthalten.

$E(valuations)$  enthalten die Risikobewertungen und stellen somit veränderliche Fakten dar (vgl. Unterabschnitt 5.3.3.1). Sie werden anhand von Regeln aus den verfügbaren Fakten abgeleitet und im Dialog mit dem Anwender bei der Risikobewertung ermittelt. Den Großteil der Fakten enthält die Risikobewertungsmatrix. Sie sind als Schlüssel-Wert-Paare abgelegt, mit der Koordinate der Zelle als Schlüssel und der Risikobewertung als Wert. Der Bezeichner des Schlüssels wird durch die Verkettung aus betroffener Instanz und Gefahrentyp mit dem Ausrufe (!) Zeichen als Trenner gebildet (z. B. *Persons!Fire* für das Risiko, welches für Menschen durch ein Feuer besteht).

## Auswertungsterme

$C(alculation)$  fasst Regeln vom Typ  $C$  und  $CF$  in einem Namensraum zusammen. Java-Algorithmen können über den Bezeichner einer Regel vom Typ  $C$  in die Wissensbasis eingebettet werden.

$R(ules)$  enthält die Wenn-Dann-Regeln vom Typ  $R$ . Sie stellen den Kern der Wissensbasis dar.

### 5.5.3.2. Objekte

Die zweite Hierarchieebene des Namensraums differenziert zwischen den verschiedenen Arten von Objekten. Wie im mathematischen Modell wird zwischen Objekten der Umwelt  $F \setminus A \setminus E.Umw.*$  und den dort agierenden Ressourcen  $F \setminus A.Res.*$  unterschieden.

### Datenterme der Umweltobjekte

Bei den Fakten zu Umweltobjekten werden die folgenden Varianten von Datentermen unterschieden:

- $F \setminus A.Umw.Geb \setminus Pers \setminus StrKan. \$OID^T \$ \# \star$
- $A.Umw.StrKno. \$OID^T \$ \# \star$
- $F \setminus A.Umw.Allgem \# \star$
- $E.Umw.Geb \setminus StrKan. \$OID^T \$ . \$AID^T \$ \# \$Betroffen \$ ! \$Gefahrenquelle \$^I$

Fakten, Attribute und Evaluationen von Umweltobjekten sind durch  $F \setminus A \setminus E.Umw. \star$  gekennzeichnet. Unterschieden wird weiterhin zwischen Information über Gebäude  $F \setminus A.Umw.Geb. \star$  und Personen außerhalb von Gebäuden  $F \setminus A.Umw.Pers. \star$  sowie Straßenknoten  $A.Umw.StrKno. \star$  und Straßenkanten  $F \setminus A.Umw.StrKan. \star$ . Weiterhin sind allgemeine Attribute und Fakten zur Umwelt in  $F \setminus A.Umw.Allgem. \star$  abgelegt. Da Straßenknoten lediglich Punkte im Graphen des Straßennetzes ohne reale Ausdehnung sind, verändert sich ihr Zustand durch Umwelteinflüsse nicht, weshalb keine Fakten oder Risikobewertungen erfasst werden. Die Variable  $\$OID^T \$$  steht für einen eindeutigen Bezeichner, der eine Instanz innerhalb eines Objekttyps (z. B. *Geb* oder *StrKan*) unterscheidet. Die Variable  $\$AID^T \$$  ist der eindeutige Bezeichner eines Agenten, durch den zwischen den Risikobewertungen verschiedener Agenten unterschieden wird. Eine  $\$AID^T \$$  haben dabei nicht nur die ADVISOR-Agenten, sondern auch jeder menschliche Anwender, wie die einzelnen Entscheidungsträger einer Leitstelle oder die Einsatzleiter vor Ort. Die Unterscheidbarkeit der Quelle einer Risikobewertung ermöglicht ihren Austausch zwischen menschlichen Anwendern untereinander sowie zwischen Anwendern und Softwareagenten, mit dem Ziel eines gemeinsamen Lagebildes.

### Schäden an Umweltobjekten

Die Terme  $F.Umw. \$TYP^T \$ . \$OID^T \$ \# \star$  enthalten die einem Agenten bekannten Fakten zum Zustand von Umweltobjekten (siehe Unterunterabschnitt 5.3.3.2). Die Schadensmeldungen, auf denen sie beruhen, sind nicht in der Fakten- und Wissensbasis, sondern im Nachrichtensubsystem des Systems abgelegt. Wie im Datenmodell dargestellt werden die verschiedenen Gefahren beschrieben durch einen Vektor aus Schadensart (*Strukturschaden*, *Feuerschaden*, *Feuerstärke* und *Straßenblockade*), Schadensklasse, Glaubwürdigkeit und dem Zeitpunkt, zu dem die entsprechende Aussage getroffen wurde. Die Bezeichnung der *Datenterme* folgt daher dem Schema  $\# \$Schadensart \$ \$Schadensklasse \$ \oplus \$Glaubwürdigkeit \$^F \setminus \$Zeitpunkt \$^I$ .

Welche Gefahrentypen in einer Schadensmeldungen auftreten können, hängt von der Art des Umweltobjektes ab. Bei Gebäuden können ein *Strukturschaden* sowie ein *Feuerschaden* mit einer *Feuerstärke* gleichzeitig auftreten. Bei Straßenkanten ist lediglich eine *Straßenblockade* vorgesehen. Der Namensteil  $\$Schadensklasse \$$  entspricht bei Gebäuden den in Unterunterabschnitt 5.3.1.3 beschriebenen Schadensklassen, wie *DS0* bis *DS5* für einen Strukturschaden oder *not burning* bis

*high burning* für Brände. Bei blockierten Straßenkanten gibt es lediglich die Schadensklassen *blocked* oder *free*. Der *Zeitpunkt* ist als Ganzzahlenwert der Millisekunden seit dem 01. Januar 1970 Greenwich Mean Time (GMT) codiert.<sup>8</sup> Die *Glaubwürdigkeit* des Schadens ist eine Fließkommazahl, die anhand der bereits erläuterten Fuzzy-Regeln bestimmt wird. Bei einem Strukturschaden, der zu einem Einsturz geführt hat, kann zusätzlich eine Aussage zum Volumen des Trümmerfeldes in den Termen  $F.Umw.Geb.OID^T \# \text{StrukturschadenVolumen}^F$  und  $F.Umw.Geb.OID^T \# \text{StrukturschadenVolumenGlaubwürdigkeit}^F$  abgelegt werden.

Informationen zu verletzten Personen passen nicht in das dargestellte Schema von Schäden aufgrund von Gebäudeeinstürzen oder Bränden. Zunächst ist, unabhängig von der Art der Verletzung, die Anzahl der Betroffenen von Interesse. Sie ist im Term  $F.Umw.Geb.OID^T \# \text{PersonenBetroffenePersonen}^I$  abgelegt. Sind detaillierte Informationen über verletzte Personen verfügbar, finden sich diese in den Termen  $\# \text{Personenschaden} \oplus T0 \setminus T1 \setminus T2 \setminus T3 \setminus T4 \setminus T5 \oplus Min^I \setminus Max^I \setminus Erwartet^I$  sowie  $\# \text{Personenschaden} \oplus Glaubwürdigkeit^F \setminus Zeitpunkt^I$ . Daraus ergeben sich 20 Terme, welche die Anzahl möglicher bzw. realer Verletzter, in Triageklassen eingeteilt, beschreiben, wobei die Terme mit  $Min^I$  und  $Max^I$  optional sind. Im Fall einer Aussage, die zwischen Triageklassen unterscheidet, ist nur der Term *Erwartet<sup>I</sup>* für jede Klasse ( $T0 - T5$ ) Pflicht. Daher beziehen sich *Glaubwürdigkeit<sup>F</sup>* und *Zeitpunkt<sup>I</sup>* immer auf den Wert in *Erwartet<sup>I</sup>*. Über drei weitere Terme  $\# \text{PersonenschadenGeschädigte} \oplus Anzahl^F \setminus Glaubwürdigkeit^F \setminus Zeitpunkt^I$  kann, unabhängig von Triageklassen, eine Gesamtzahl der im Gebäude geschädigten Personen abgelegt werden. Sollte ein Gebäudeeinsturz vorliegen, dienen  $\# \text{PersonenschadenVerschüttete} \oplus Anzahl^F \setminus Glaubwürdigkeit^F \setminus Zeitpunkt^I$  für die Angaben zu verschütteten Personen.

Alle Terme zu möglichen Gefahren bei einem Umweltobjekt weisen initial auf einen leeren Wert.<sup>9</sup> Ein leerer Term bei einem Gefahrentyp zeigt an, dass für das Objekt noch keine Aussage bezüglich einer Gefahr vorliegt. Eine Ausnahme davon bilden die Terme *Glaubwürdigkeit<sup>F</sup>*, welche mit dem Wert  $-10$  initialisiert sind.

## Datenterme von Ressourcenobjekten

Zur Beschreibung der Fakten des Zustandes von Ressourcen werden fünf Varianten von Termen genutzt:

- $F \setminus A.Res.Mob \setminus Stat. \$CLASS^T \$ \$RID^T \$ \# \star$

<sup>8</sup>Programmiersprachen codieren einen Zeitpunkt als Zeitraum, der seit einem Referenzzeitpunkt vergangen ist. In Java ermittelt die Funktion „System.currentTimeMillis()“ die Millisekunden seit dem 01. Januar 1970 (GMT) (siehe [Ull11]). In der Wissensbasis ist der aktuelle Zeitpunkt in dieser Codierung über den Term *C.Umwelt.Bestimme#AktuelleZeit* abrufbar.

<sup>9</sup>Bei Termen mit leerem Wert ist nur der Bezeichner festgelegt. Dies entspricht einer Null-Referenz in Java. Die Regelbeschreibung dieser Arbeit nutzt die Syntax  $\$Term\$=leer$  für Vergleiche. Dieser liefert *falsch* zurück, wenn der Term auf einen Wert verweist, und ansonsten *wahr*.

- $A.Res.\$RESTYP^T\$#\star$

Bei dem Bezeichner wird unterschieden zwischen den Fakten und Attributen von mobilen und stationären Ressourcen  $F \setminus A.Res.Mob \setminus Stat.\star$ . Ein typisches Beispiel für eine mobile Ressource ist ein Krankenwagen. Stationäre Ressourcen sind Gebäude, die gleichzeitig als Ressource dienen, wie ein Krankenhaus. Analog zu den Umweltobjekten ist  $\$RID^T\$$  der Platzhalter für den individuellen Bezeichner einer Ressource. Über  $\$CLASS^T\$$  wird wie in Unterunterabschnitt 5.3.1.2 erläutert, die Ressource anhand ihrer Hauptaufgabe einer Klasse zugeordnet ( $FIREBRIGADE$ ,  $SAR$ ,  $RECON$  oder  $AMBULANCE$ ). Zur Unterscheidung von Ressourcentypen dient die Variable  $\$RESTYP^T\$$ . Eine einzelne Instanz einer Ressource referenziert ihren Typ über den Term  $A.Res.Mob \setminus Stat.\$CLASS^T\$.\$RID^T\$#\$TypBezeichner^T$ . Die Liste aus Datentermen unter dem Bezeichner  $A.Res.Mob \setminus Stat.\$RESTYP^T\$#\star$  legt die Fähigkeiten aller Ressourcen dieses Ressourcentyps fest. Die individuellen Eigenschaften einer Instanz sind unter  $A.Res.Mob \setminus Stat.\$CLASS^T\$.\$RID^T\$#\star$  abgelegt.

### Agentenspezifische Datenterme

Jeder Agent hat Vorgaben, die von seiner Aufgabe und den verwalteten Ressourcen abhängen. So präferiert ein Agent zur Feuerbekämpfung brennende Gebäude, während einer für Such- und Rettungsoperationen zum Selbstschutz der Einsatzkräfte Gebiete mit einem Brandrisiko meidet. Um Auswertungsregeln für mehrere Agenten wiederverwenden und leicht anpassen zu können, sind entsprechende Konfigurationsparameter in der Faktenbasis abgelegt. Sie ermöglichen eine Einflußnahme in die Entscheidungsprozesse von ADVISOR-Agenten. Die Benennung dieser Terme folgt dem Schema  $P.Res \setminus Umw.\star.\$AID^T\$#\star$ , wobei über die Variable  $\$AID^T\$$  unterschieden wird, für welchen Agenten, die Präferenzen gelten. Gilt eine Präferenz für alle Agenten, fehlt  $\$AID^T\$$  im Bezeichner des Terms.

#### 5.5.3.3. Regeln

Die Auswertungsterme der Wissensbasis enthalten Berechnungsregeln in den  $C(alculations)$ -Termen sowie Wenn-Dann-Regeln in den  $R(ules)$ . Das Benennungsschema ist analog zu dem von Objekten.  $C \setminus R.Umw.\star$  gruppiert Berechnungen und Regeln bezüglich Umweltobjekten,  $C \setminus R.Res.\star$  die von Ressourcen. Einem Auswertungsterm kann eine beliebige Anzahl von Termen als Parameter  $\{P_1..P_n\}$  mitgegeben werden. Während der Regelauswertung sind diese in einer Liste enthalten, die nur im Kontext der Auswertung der jeweiligen Regel gültig ist. Die Parameter-Terme werden in der Regel direkt über ihren Bezeichner ohne die Angabe eines Namensraums referenziert.

## Operationen auf Datentermen

Berechnungsregeln vom Typ  $C$  entsprechen arithmetischen Termen beliebiger Komplexität. Neben den Standardoperationen *Addition* (+), *Subtraktion* (−), *Multiplikation* (\*) sowie *Division* (/) sind in der Wissensbasis die in Unterabschnitt 5.5.2 beschriebenen Operationen definiert. Nicht alle Operationen und ihre Kombinationen sind auf alle Datentermtypen anwendbar. Gleitkommazahlen, dargestellt durch ein hochgestelltes F nach dem Variablenbezeichner ( $^F$ ), und Ganzzahlenwerte, dargestellt durch ein hochgestelltes I ( $^I$ ), unterstützen alle mathematischen Operationen in beliebiger Kombination. Auf Zeichenketten ( $^T$ ) ist nur das Plus (+) als *Verkettung* der gegebenen Terme definiert. Ist dabei einer der Terme ein Zahlenwert, wird dieser in eine Zeichenkette umgewandelt. Auf booleschen Termen ( $^B$ ) sind die Operatoren Plus (+) als logisches *Oder*, Minus (−) als *Und* sowie Stern (\*) als *exklusives Oder* möglich. Für Listenterme ( $^{L(*)}$ ) existieren ebenfalls Operationen. Verglichen werden die Elemente in den Listen anhand ihrer Schlüssel, ohne Berücksichtigung ihrer Werte.<sup>10</sup> Zur Verfügung stehen der Plus Operator (+) für die Vereinigung, der Slash (/) für die Differenz und das Minus (−) für den Durchschnitt. Der Typ des Rückgabewertes einer Berechnungsregel ist abhängig von den angewendeten Operationen sowie den Typen der in der Regel referenzierten Datenterme.

Blöcke mit Fuzzy-Regeln  $CF$  sind in der *Fuzzy Control Language (FCL)* beschrieben. Jede Fuzzy-Regel ist ein Funktionsblock, dessen Struktur Unterabschnitt A.7.1 darstellt. Diese Blöcke bestehen aus der Definition der Output-Variable im mit  $VAR\_OUTPUT$  bezeichneten Bereich, einer beliebigen Zahl an Eingangsvariablen in  $VAR\_INPUT$ , den im Abschnitt  $FUZZIFY$  definierten Fuzzy-Variablen sowie einer Variable für die Defuzzifizierung unter dem Bezeichner  $DEFUZZIFY$ . Die eigentlichen Regeln für die Fuzzy-Inferenz-Schlüsse finden sich im mit  $RULEBLOCK$  überschriebenen Abschnitt.<sup>11</sup> Unabhängig von der Definition in  $VAR\_OUTPUT$  ist die defuzzifizierte Ausgabevariable in der Fakten- und Wissensbasis immer eine Gleitkommazahl ( $^F$ ).

Die in der Arbeit verwendeten linguistischen Variablen werden in Unterabschnitt Unterabschnitt 5.4.3 erläutert. Die zur Auswertung verwendeten Fuzzy-Regeln finden sich unter Abschnitt A.7. Im Namensraum der Fakten- und Wissensbasis werden sie referenziert über die Bezeichner  $CF.Res.Beobachtung\#$

$ReliabilityCalculation\{ObserverCertainty^F, ObserverQualification^F\}^F$ ,

$CF.Res.Beobachtung\#ReliabilityDegeneration\{LastUpdateReliability^F, TimeSinceLastUpdate^F, ReliabilityDegeneration^F\}^F$  sowie

$CF.Res.Beobachtung\#ReliabilityCombination\{NewFactReliability^F, NewFactReliability^F\}^F$ .

<sup>10</sup>Der Vergleich anhand des Schlüssels stellt nicht sicher, dass wertgleiche Elemente als gleich angesehen werden. Die Elemente in Listen, die weiter vom Gleichheitszeichen entfernt sind, überschreiben immer die, die weiter links in der Berechnungsregel stehen.

<sup>11</sup>Mehr Details zur Syntax der FCL finden sich in [INT00].

## Wenn-Dann-Regeln

Die Wenn-Dann-Regeln der Wissensbasis werten über Vorwärtsverkettung [BKI08] die verfügbaren Fakten aus. Dies ermöglicht den ADVISOR-Agenten, Schlüsse anhand der aktuell bekannten Lage im Einsatzgebiet zu ziehen. Anhand der Regeln wird ein Großteil der Entscheidungsprozesse der Agenten getroffen. Sie ermöglichen die individuelle Anpassung der Unterstützungsfunktionen ohne Kenntnisse einer Programmiersprache. Ein Teil der Regeln wird von Agenten gemeinsam genutzt, unabhängig davon, für welche Art von Einsatzkräften und Gefahrenlagen sie gelten. Zum Großteil sind allerdings individuelle Regeln definiert. Eine Wenn-Dann-Regel gliedert sich in vier Teile:

1. den Bezeichner im Namensraum  $R.Res \setminus Umw. \star \#Regelname$ , über den die Regel referenziert wird, sowie die Bezeichner der zu übergebenden Parameter  $\{P_1..P_n\}$ :  
 $R.Res \setminus Umw. \star \#Regelname\{P_1..P_n\}$
2. eine Liste von Termen, die im Auswertungskontext der Regel einen internen Bezeichner mit vorbestimmten Wert definieren:  
 $Default\{InternerBezeichner1 = Terminhalt1; \dots; InternerBezeichnerN = TerminhaltN\}$
3. den Wenn-Dann-Regelblock:
 

```
Wenn(Prämisse1)
Dann[Konklusion1a;
Konkl1b;
Wenn(Prämisse2)
Dann[Konklusion2; ...]
~ Erklärender Text Präm3
Wenn(Prämisse3)
Dann[Konklusion3;
Wenn..
..
] ~ Abschluss PrämisseX
] ~ Abschluss Prämisse3
] ~ Abschluss Prämisse1
Wenn(PrämisseX)
..
] ~ Abschluss PrämisseX
```

4. die Abschlussberechnung:

$$\begin{aligned} & \textit{Ergebnis}\{\textit{InternerBezeichner} = \textit{Terminhalt}; \dots \\ & \textit{SetReg} : \textit{Regelbasisbezeichner} = \textit{Terminhalt} \\ & \} \sim \textit{Abschluss Ergebnis}X \end{aligned}$$

Über den mit *Default* bezeichneten Block werden Terme mit vordefinierten Werten versehen. Diese sind mit der Ausführung der Regel gesetzt, unabhängig davon, ob Prämissen des Regelblocks feuern.<sup>12</sup> Zum Abschluss der Regelbeschreibung können arithmetische Berechnungen durchgeführt werden, welche nach der Abarbeitung des Regelblocks ausgewertet werden, unabhängig von den Regeln, die gefeuert haben. Definiert werden diese Terme in dem Block *Ergebnis*{*Bezeichnung* = *Terminhalt*}. Schreibende und lesende Operationen sind auf Termen der internen Termliste des Auswertungskontextes der Regel oder direkt auf der Faktenbasis möglich.

Die Konklusion einer Regel kann abgerufen werden, indem der Aufrufer im Kontext der Regel bekannte Terme referenziert. Der Zugriff erfolgt durch einen Ausdruck nach dem Muster *R.Res \ Umw. \* #Regelname #Bezeichner*. Dies ist nicht nötig, wenn die Regel ihre Ergebnisse in Termen der Faktenbasis ablegt. Einträge in die Liste der Terme des Auswertungskontextes erzeugt die Anweisung *Schlüssel = Wert* in einer Konklusion sowie Default- oder Ergebnisblock. Dabei wird ein Term mit dem gegebenen Wert der internen Termliste hinzugefügt bzw. ein bereits eingetragener mit dem neuen Wert überschrieben. Soll ein Term in der Faktenbasis angelegt oder verändert werden, lautet die Anweisung *SetReg : Schlüssel = Wert*. Der Schlüssel ist in diesem Fall ein vollständig qualifizierter Bezeichner als Referenz auf ein Element im Namensraum der Fakten- und Wissensbasis. Die Zuweisung *SetReg :* ist nur sinnvoll, wenn eine Information in der Faktenbasis für zukünftige Auswertungen dauerhaft verändert werden soll. Bei der Nutzung einer solchen Zuweisung ist eine Regel allerdings nicht mehr seiteneffektfrei.

**Auswertung der Wenn-Dann-Regeln** Die Auswertung der Wenn-Dann-Regeln erfolgt abweichend vom typischen Vorgehen in anderen wissensbasierten Systemen nicht automatisch unter Berücksichtigung aller Regeln der Wissensbasis. Typischerweise wird beim DMT eine Auswahl der Regeln getroffen, die für eine bestimmte Fragestellung genutzt werden sollen. Eine Auswertung wird durch einen Methodenaufruf gestartet. Dieser benötigt zwei Listen als Übergabeparameter:

- die Regelliste mit den Bezeichnern der zu berücksichtigenden Regeln *Eval = {R.Res \ Umw. \* #Regel\_1\$; ...; R.Res \ Umw. \* #Regel\_m\$}*. Die Reihenfolge in der die Liste seriell abgearbeitet wird, wird bestimmt durch die Abhängigkeiten zwischen den Regeln (siehe Algorithmus 5.1).

<sup>12</sup>Eine Regel oder Prämisse feuert, wenn sie als wahr evaluiert wird und daher die Konklusion zur Anwendung kommt.

- die Parameterliste  $Param = \{P_1^*, \dots, P_n^*\}$  aus Datentermen, die den Auswertungskontext der Regeln festlegen. Die zu übergebenden Terme ergeben sich aus der Vereinigung aller Parameter der Regeln in  $Eval(\cup\{P_{l_1}..P_{l_n}\} | l \in 1..m)$ .

Über den Auswertungskontext wird z. B. bestimmt, auf welche Gebäude oder welche Ressourcenklasse die auszuführenden Regeln anzuwenden sind. Algorithmus 5.1 beschreibt die Auswertung. Die Terme, die in einer Regel neu erstellt oder verändert werden, sind das Ergebnis der Regel. Erfolgt keine externe Zuweisung durch *SetReg*: sind sie, wie die Werte in *Param*, im Auswertungskontext abgelegt und damit nicht über den Namensraum der Fakten- und Wissensbasis referenzierbar, sondern nur den dort ausgeführten Regeln aus *Eval* zugänglich. Sie stellen einen individuellen Kontext während des Verlaufs der Auswertung dar. Durch die serielle Abarbeitung der Regeln sind beliebig komplexe Auswertungen möglich. Schreibt keine Regel einen Wert in die Faktenbasis, agiert eine Regelliste seiteneffektfrei in ihrem internen Kontext. Dies ist durchaus von Vorteil, stellt es doch sicher, dass mehrere Regelblöcke parallel und in beliebiger Reihenfolge ausgeführt werden können, ohne sich gegenseitig zu beeinflussen.<sup>13</sup>

---

### Algorithmus 5.1 Pseudocode für die Auswertung einer Regelliste

---

**Eingabe:** Liste von Regeln *Eval* mit Regeln aus der Fakten- und Wissensbasis *RB* und der Parameterliste *Param*.

**Ausgabe:** Gefolgerte Fakten *Res* und permanente Änderungen in *RB*.

#### Vorbereitung (Bestimme Abhängigkeiten zwischen Regeln)

1. Für jede Konklusion der Regeln in *Eval*:  
Erstelle eine Schlüssel-Wertpaar-Liste *Kon* mit allen Bezeichnern der durch die Konklusion veränderten Terme. Schlüssel sei der Bezeichner des Terms. Der Wert ist die Liste aller Bezeichner von Regeln, in denen der Term verändert wird.
2. Anhand der Schlüssel aus *Kon* erstelle eine Schlüssel-Wertpaar-Liste *Pre*, welche alle Regeln auflistet, die Terme in Prämissen oder Konklusionen referenzieren, welche in anderen Regeln aus *Eval* verändert werden. Schlüssel sind die Bezeichner aller Regeln aus *Eval*. Der jeweilige Initialwert ist eine leere Liste.
3. Für jede Prämisse der Regeln in *Eval*:  
Falls in der Prämisse einer Regel *R* ein Term *T* aus der Schlüsselliste von *Kon* referenziert wird, also ein veränderlicher Term vorliegt: Füge dem Listenelement aus *Pre* mit dem Bezeichner von *R* als Schlüssel alle Listenelemente aus *Kon* hinzu, die den Bezeichner *T* als Schlüssel aufweisen.
4. Sortiere *Pre* aufsteigend nach der Anzahl der Elemente in der Wertliste.
5. Für jedes Element in *Pre*:
  - a) Prüfe, ob die Liste mit Werten leer ist:  
Wenn ja: Füge den Schlüssel des Elements hinten an die Liste *Ex* an und entferne es

---

<sup>13</sup>Probleme, die bei Beeinflussung durch den gleichzeitigen Zugriff und die Veränderung von Daten entstehen, sind unter anderem „Race Condition“ (Wettlaufsituation) oder z. B. „Dirty Read“ (Schreib-Lese-Konflikt).

aus *Pre*.

Wenn nein: Nächstes Element.

- b) Wenn letztes Element erreicht:  
Falls in dem Durchlauf mindestens ein Element aus *Pre* entfernt wurde: Zurück zu 5.  
Wenn kein Element entfernt wurde: Breche die Auswertung mit einer Fehlermeldung ab.

### Auswertung

1. Erstelle den initialen Auswertungskontext  $Kon = Param$ .
2. Für jede referenzierte Regel in *Ex*:
  - a) Löse Referenz auf und lade entsprechende Regel *R* aus *RB*.
  - b) Schreibe die in *Default* definierten Werte von *R* in den Kontext *Kon*.
  - c) Werte die Regel aus, indem deren Prämissen geprüft werden. Für alle, die zutreffen: Führe die entsprechende Konklusion aus und werte die aktivierten verschachtelten Unterregeln analog aus.
  - d) Wenn alle Regel in *R* ausgewertet wurden: Führe Abschlussberechnung durch (falls vorhanden).
3. Gebe die Ergebnisliste  $Res = Kon$  zurück.

Innerhalb einer Liste von Regeln *Eval* können Abhängigkeiten existieren. Das Ergebnis der Auswertung von 'Regel A' kann durch Terme die in 'Regel B' referenziert werden. Damit ist B von von A abhängig. Eine serielle Abarbeitung in beliebiger Reihenfolge berücksichtigt Abhängigkeiten von Regeln ggf. nicht korrekt. Der dargestellte Algorithmus baut daher im Schritt *Vorbereitung* zunächst eine Reihenfolge für die Auswertung der Regeln auf und validiert, dass *Eval* korrekt abgearbeitet werden kann. Dies stellt sicher, dass Regeln, die Terme verändern, welche in anderen Regeln referenziert werden, vor den abhängigen Regeln ausgewertet werden. Sollte eine solche Reihenfolge nicht möglich sein, z. B. wegen zirkuläre Abhängigkeiten zwischen Regeln, wird die Abarbeitung mit einer Fehlermeldung abgebrochen (siehe 5b unter Vorbereitung). Das Ergebnis der Abarbeitung wird im Auswertungskontext abgelegt bzw. in die Regelbasis zurückgeschrieben. Es steht somit in weiteren Verarbeitungsschritten der Entscheidungsunterstützung zur Verfügung. Die im DMT angewendeten Regeln und Hilfsmethoden beschreiben die nachfolgenden Kapitel.

#### 5.5.4. Regeln und Algorithmen in dieser Arbeit

Im vorherigen Abschnitt wurde ein Algorithmus zur Auswertung von Regeln erläutert. In den folgenden Kapiteln werden sowohl Regeln als auch Algorithmen beschrieben. Unterschieden wird dabei zwischen in einer Programmiersprache realisierten *Algorithmen* und in der Wissensbasis abgelegten *Regeln*. Regeln haben daher immer einen Bezeichner aus der Fakten- und Wissensbasis  $R.\star$  bzw.  $C.\star$ , während Algorithmen einen Namen und eine Beschreibung aufweisen.

Eine Programmiersprache hat eine höhere Flexibilität als die Regeln der Wissensbasis. Mit ihr sind komplexere Auswertungen realisierbar. Diese lassen sich allerdings ohne Zugriff auf den Programmcode nicht mehr verändern. In der Wissensbasis können dagegen relativ einfach neue Regeln und Daten ergänzt sowie alte abgeändert oder ersetzt werden. Regeln können allerdings nur Terme aus der Fakten- und Wissensbasis referenzieren. Algorithmen haben lesenden und schreibenden Zugriff sowohl auf die Elemente der Fakten- und Wissensbasis als auch auf alle Elemente im Applikationsspeicher. Um sie bei der Darstellung zu unterscheiden, weisen Elemente aus der Fakten- und Wissensbasis ihren Bezeichner aus dem Namensraum auf. Elemente aus dem Applikationsspeicher werden dagegen mit dem Präfix *Ext.\** versehen.

Um sowohl die Vorteile der frei programmierten Algorithmen, als auch die leicht anpassbaren Regeln nutzen zu können, sind die Auswertungen der ADVISOR-Agenten oft als Mischform realisiert. Algorithmen enthalten den grundsätzlichen Ablauf der Problemlösung und greift dabei auf Elemente der Wissensbasis zurück. Über Veränderungen dieser Elemente ist die Arbeitsweise der Algorithmen anpassbar, ohne Programmcode verändern zu müssen. Ein Beispiel für dieses Vorgehens ist die in Unterabschnitt 7.1.1 beschriebene Routenberechnung.



## 6. Methoden der passiven Entscheidungsunterstützung

Eine Unterstützung von Entscheidungen kann durch aktive wie passive Methoden erfolgen (vgl. Unterabschnitt 4.3.1). Idealerweise besteht dabei eine Kooperation zwischen Mensch und unterstützender Software. Für eine vollumfängliche Unterstützung des in Kapitel 8 beschriebenen Entscheidungsprozesses werden Methoden beider Ansätze in einen kooperativen Ablauf integriert. Die bereitgestellten passiven Hilfestellungen erläutert das nachfolgende Kapitel.

Ziel einer passiven Entscheidungsunterstützung ist, dem Anwender Hilfestellungen bei der Entwicklung seines mentalen Abbildes der Lage und der Abwägung seiner Handlungsalternativen zu liefern, ohne Lösungen vorzuschlagen (siehe Unterabschnitt 4.3.3). Im konkreten Fall unterstützt das System das Informationsmanagement durch Komponenten zum Austausch, zur Verwaltung, zum Zugriff und zur Aufbereitung verfügbarer Fakten zu Ressourcen und Gefahrenbereichen. Die Darstellung erfolgt durch das *Management Information System (MIS)*, eine grafische Benutzungsoberfläche. Dessen Kern ist ein *Geographisches Informationssystem (GIS)*, welches bei Werder [Wer07] beschrieben wird. Das Dialogdesign der Oberfläche integriert die aktiven und passiven Elemente der Entscheidungsunterstützung. Es basiert auf dem in Kapitel 8 beschriebenen Prozess. Neben der Verteilung und Aufbereitung bestehender Informationen, ergänzt das DMT diese durch weitere Datenquellen. Simulationen liefern Prognosen möglicher Lageentwicklungen. Reale und prognostizierte Daten werden durch abgeleitete Fakten ergänzt, die mögliche Seiteneffekte oder Sekundärschäden aufzeigen. Der thematische Fokus der eingesetzten Verfahren und Methoden sind Hilfestellungen zur Bewältigung einer Erdbebenkatastrophe. Das System kann allerdings auch für das Training von Führungsstäben und die Entwicklung von Katastrophenschutzplänen genutzt werden. Das DMT bietet somit Hilfe für die Phasen Bewältigung, Vorbeugung und Vorbereitung des Katastrophenzyklus (Abbildung 2.3).<sup>1</sup>

Alle im Weiteren vorgestellten Regeln, Algorithmen und Simulatoren arbeiten mit den im vorherigen Kapitel vorgestellten Datenmodellen der Fakten- und Wissensbasis. Ihre Implementierung wird in Abschnitt 9.4 erläutert. Wie die nachfolgenden Abschnitte zeigen, lassen sich mit den Regeln der Wissensbasis komplexe Auswertungen realisieren.

---

<sup>1</sup>Wie in Kapitel 10 dargestellt, wurde DMT in Rumänien bei einer Stabsübung eingesetzt.

## 6.1. Informationsquellen

Die primäre Informationsquelle für das Lagebild eines Entscheidungsträgers im operativ-taktischen Führungsstab sind Meldungen, die in schriftlicher Form von einer Leitstelle geliefert werden. Der Ursprung dieser Informationen sind Beobachtungen aus dem Einsatzgebiet durch Zivilisten und Einsatzkräfte, die den Disponenten in Form von schriftlichen oder mündlichen Meldungen erreichen. Teilweise sind weitere technische Quellen, wie z. B. Satellitenbilder, Luftbilder oder Laserscans verfügbar.

Das Internet entwickelt sich in Krisenfällen zu einem immer wichtigeren Informationsmedium. Dort liefern Blogs, soziale Netzwerke wie Facebook, Mikroblogging-Dienste wie Twitter sowie Foto und Videoportale wie YouTube aktuelle Informationen direkt von Betroffenen. Diese Medien können umgekehrt auch als Informationskanal von Behörden zur Bevölkerung dienen (vgl. [SPS08, ILJ08]). Sie anzubinden und auszuwerten ist Bestandteil aktueller Forschung, die allerdings außerhalb des Fokus der vorliegenden Arbeit liegt. Da das DMT als offenes System konzipiert ist, könnten diese neuen Datenquellen mit geringem Aufwand integriert werden.

Es sollte nicht vergessen werden, dass Entscheidungsträger des Führungsstabes meist Experten bei der Bewältigung von Schadensereignissen sind und auf einen umfangreichen Erfahrungsschatz zurückgreifen können. Sie sind daher auch Informationsquellen, die vorliegende Informationen bewerten und beurteilen, daraus neue Fakten ableiten und, anhand mentaler Simulationen, Prognosen über den Verlauf der Katastrophen entwickeln. Die in den folgenden Abschnitten beschriebenen Methoden aus Simulation und abgeleiteten Fakten stellen eine weitere Ergänzung der primären Informationsquellen dar.

## 6.2. Simulatoren und Szenarien

Die Simulationsumgebung des DMT (DMT-SIM) basiert auf der Arbeit von Fiedrich [Fie04]. Ihre Einsatzfelder im DMT sind vielfältig. Eine Simulation kann Informationsdefizite kompensieren, indem sie Entscheidern mögliche Szenarien der Lage zur Verfügung stellt. Entsprechende Szenarien können in interaktiver Form zum Training genutzt werden oder bei der Planung von Katastrophenschutzplänen unterstützen. Simulation kann zur Berechnung von Schadensszenarien genauso eingesetzt werden wie für die Betrachtung der Entwicklung einer Lage über einen Zeitverlauf. Für Letzteres ist eine interaktive Umwelt notwendig, in der sich Ressourcen- und Schadenssimulatoren gegenseitig beeinflussen können. Für jedes Szenario wird eine isolierte Instanz einer Umgebung mit DMT-SIM-Agenten gestartet. Die Informationen bzw. Ereignisse dieser simulierten Szenarien werden als Schadens- bzw. Statusmeldung in Form von DMT-Messages (siehe Unterabschnitt 5.2.1) an die anderen Komponenten des DMT (MIS und ADVISOR) weitergegeben. Schadensmeldungen haben

die Qualifikation *simulation* und, abhängig von der Eintrittswahrscheinlichkeit, die Qualität *potential low*, *potential medium* oder *potential high*. Davon abgeleitet haben die Informationen aufgrund der Meldungen in der Faktenbasis die Glaubwürdigkeit *low probability*, *medium probability* oder *high probability*. Zusätzlich weist jeder Simulationslauf eine Szenario-Id auf, anhand derer verschiedene Simulationsszenarien unterschieden werden. Die Nutzung des DMT-Message-Formates als Schnittstelle zwischen der Simulation und den weiteren Systemkomponenten ermöglicht eine einfache Einbindung neuer Prognosemodelle. Exemplarisch wurde dies im Forschungsprojekt „Modellbasiertes Ressourcenmanagement für Hochwasserereignisse und Interoperabilität der beteiligten Komponenten“ umgesetzt. Hierbei wurden Komponenten entwickelt, die es ermöglichen, abhängig vom Pegelstand eines Hochwassers, den Zustand von Gebäuden und Straßen zu bestimmen. Durch eine geringfügige Ergänzung des Datenmodells konnten diese in das DMT System für Erdbeben integriert werden, ohne dafür die ursprünglichen Komponenten anpassen zu müssen.

### 6.2.1. Gebäudeschäden durch Erdbeben

Umfangreiche Vorarbeiten zur Erforschung von Methoden für die Unterstützung der Bewältigung von Erdbebenkatastrophen wurden im Rahmen des SFB-461 durchgeführt. Ein Ergebnis ist EQSIM, ein Programm zur Abschätzung von Schäden an Gebäuden nach Erdbeben, welches in DMT-SIM enthalten ist. Auf Basis der HAZUS-Modelle [FEM99] wurde eine auf ein Untersuchungsgebiet in Rumänien angepasste Erdbebensimulation entwickelt [BBF<sup>+</sup>01, FLL<sup>+</sup>02, FLMS04]. Unter Rückgriff auf die in der Faktenbasis des DMT abgelegten Attribute eines Gebäudes (Werkstoff, Höhe, angewendete Bauform) und die Parameter eines Bebens<sup>2</sup> wird für jedes Gebäude im Einsatzgebiet ein Schadensszenario bestimmt. In der in Abschnitt 5.5.3.2 beschriebenen Form  $F.Umw.Geb.OID^T \# Strukturschaden \# Schadensklasse^T \oplus Glaubwürdigkeit^F \setminus Zeitpunkt^I$  wird das Simulationsergebnis in einer eigenen Instanz der Faktenbasis abgelegt, unabhängig von ggf. vorhandenen anderen Fakten aus weiteren Szenarien oder realen Beobachtungen.

Die für EQSIM notwendigen Eingangsparameter sind oft kurz nach dem Schadensereignis verfügbar. Daher ist es möglich, auf Grundlage der Schadenssimulation frühzeitig einen Überblick über gefährdete Gebäude und das Gesamtschadensbild zu gewinnen. Basierend auf diesem Szenario können mögliche Folgen ermittelt werden, wie die Anzahl verletzter Personen oder die Gefahr für den Ausbruch von Bränden. Diese Prognoseergebnisse gehen in die aktiven Hilfen der ADVISOR-Agenten ein, wie z. B. in die Routenplanung für die Erkundung des Einsatzgebietes (Algorithmus 7.1). Die Daten selbst sind als passive Entscheidungshilfen (siehe auch Unterunterabschnitt 6.4.2.4) in die Kartenansicht des MIS integriert. Dort kann ein Layer eingeblendet werden, in dem Gebäude je nach Eintrittswahrscheinlichkeit von

---

<sup>2</sup>Die Parameter des Bebens sind die dort aufgetretenen Spektren, welche über eine sogenannte Shakemap gewonnen werden können.

Schäden unterschiedlich eingefärbt sind. Über zusätzliche Layer können weitere Informationen in die Karte eingeblendet werden, wie z. B. die Anzahl der in den Gebäuden zu erwartenden Verletzten.

## 6.2.2. Brandausbreitung und -bekämpfung in einem Gebäude

Feuer als sekundäre Folge von Erdbeben haben ein erhebliches Schadenspotenzial. Der Umfang der durch die Katastrophe verursachten Schäden beeinträchtigt oft auch Teile der Infrastruktur, was es den stark belasteten Einsatzkräften umso schwerer macht, gemeldete Brände zeitnah und angemessen zu bekämpfen. Um abzuwägen, mit welcher Priorität gemeldete Brände zu behandeln sind, ist eine Simulation des möglichen Brandverlaufs in einem Gebäude interessant. Eine Simulation der Löscharbeiten kann u. a. der Abschätzung dienen, wie viele Löschfahrzeuge für einen erfolgreichen Einsatz an einem Gebäude nötig sind. Ein Modell der Brandausbreitung innerhalb eines Gebäudes kann außerdem als Basis für ein Ausbreitungsmodell auf Nachbargebäude dienen. DMT-SIM nutzt das von Fiedrich [Fie04] beschriebene Modell zu Simulations- und Prognosezwecken der Brandausbreitung innerhalb von Gebäuden und auf andere Gebäude.

Im Simulationsmodell wird vereinfachend davon ausgegangen, dass jeder Brand im Erdgeschoss eines Gebäudes beginnt.<sup>3</sup> Es unterscheidet zwischen der horizontalen Ausbreitung innerhalb der Stockwerke und der vertikalen auf andere Stockwerke. Die Gesamtbrandleistung  $\bar{b}_{B_i}(t)$  für ein Gebäude  $B_i$  zu einem Zeitpunkt  $t$  ergibt sich aus der Summe der Brandleistung  $b_{B_i}^j(t)$  jedes Stockwerkes  $j$ , wobei  $a_{B_i}^S$  die Anzahl der Stockwerke des Gebäudes repräsentiert. Es gilt:  $\bar{b}_{B_i}(t) = \sum_{j=1}^{a_{B_i}^S} b_i^{OID}(t)$ .

### 6.2.2.1. Horizontale Ausbreitung

Für jedes Stockwerk wird die aktuelle Brandleistung zum Zeitpunkt  $t$  bestimmt durch die brennende Fläche  $bf_{B_i}^j(t)$  und die Brandleistung pro Quadratmeter  $bl_{B_i}$ . Die Brandleistung pro Quadratmeter kann für jedes Gebäude individuell festgelegt werden. Da für die Gebäude im Testgebiet kein exakter Wert für  $bl_{B_i}$  bestimmt werden konnte, wird dafür eine Abschätzung genutzt. In diese gehen der bei der Konstruktion verwendete Werkstoff, das Inventar und ggf. vorhandene brandfördernde Stoffe ein. Auf dieser Grundlage werden Gebäude in die drei Klassen *niedrig*, *typisch* und *hoch* eingeteilt. Anhand der Klasse wird die Abweichung von  $bl_{B_i}$  von der typischen Brandleistung/m<sup>2</sup>  $b^{Standard}$  wie folgt bestimmt:

$$bl_{B_i} = \begin{cases} bl^{Standard} * 0,85 & \text{falls Brandleistung niedrig} \\ bl^{Standard} * 1 & \text{falls Brandleistung typisch} \\ bl^{Standard} * 1,15 & \text{falls Brandleistung hoch} \end{cases}$$

<sup>3</sup>Die Benennung der Attribute folgt der in Unterunterabschnitt 5.3.1.3.

Ein Stockwerk brennt so lange, bis seine Wärmemenge  $\bar{w}_{B_i} = a_{B_i}^{AS} * bl_{B_i}$  aufgezehrt ist, wobei  $a_{B_i}^{AS}$  der Fläche eines Stockwerkes im Gebäude entspricht. Ein Stock gilt als ausgebrannt, wenn für die verbleibende Wärmemenge  $\dot{w}_{B_i}^j(t) = \bar{w}_{B_i} - \sum_{u=1}^t b_{B_i}^j(u)$  gilt  $\dot{w}_{B_i}^j(t) = 0$ . Unabhängig den Gegebenheiten beim Innenausbau des Gebäudes wird angenommen, dass die horizontale Ausbreitung des Brandes kreisförmig mit einer konstanten Geschwindigkeit  $a_{B_i}^{BV}$  erfolgt. Wie die Brandleistung pro Quadratmeter kann diese individuell für jedes Gebäude festgelegt werden. Auch hierfür kommt der bei der Brandleistung gewählte Ansatz einer Expertenabschätzung zum Einsatz. Analog zu den Ausführungen von Fiedrich [Fie04] nimmt der Wert mit zunehmender Anzahl an brennenden Stockwerken zu.

### 6.2.2.2. Vertikale Ausbreitung

Der Übergriff auf andere Stockwerke (vertikale Ausbreitung) wird durch den Zeitraum, den ein darunterliegendes Stockwerk bereits brennt, und die dort in Brand stehende Fläche bestimmt. Erreicht die brennende Fläche eine kritische Größe so breitet sich das Feuer nach einer gewissen Zeit auf das darüber liegende Stockwerk aus.<sup>4</sup> Die Wärmemenge, die ein Stockwerk abgeben kann, und damit die Zeitdauer der Branderhaltung hängt ab von seiner Größe und seinem Brennwert, der sich aus der Menge an brennbarem Material und dessen Heizwert ergibt. Der Brennwert eines Gebäudes kann individuell vorgegeben werden. Hierbei ist auch die Nutzungsklasse des Gebäudes zu berücksichtigen. Hat der Brand die verfügbare Wärmemenge in einem Stockwerk aufgezehrt, gilt es als ausgebrannt. Trifft dies für alle Stockwerke in einem Gebäude zu, ist dies in der Gesamtheit ausgebrannt.

### 6.2.2.3. Brandbekämpfung

Die Werte der Brandleistung in den Stockwerken eines Gebäudes  $b_{B_i}^j(t)$  sind die Eingangsparameter für die Simulation der Löscharbeiten.<sup>5</sup> Entscheidend für die Berechnung ist die durch die verfügbaren Löschrupps bereitgestellte Flussrate. Diese ist definiert als die Menge Wasser pro Zeiteinheit ( $m^3 / S$ ), die von den verfügbaren Trupps aufgebracht wird. Aus der Wassermenge wird die verfügbare Absorptionsenergie  $e(t)$  bestimmt, die einem Brand durch das Löschen entzogen wird.

Das nachfolgend beschriebene Algorithmus wird wiederholt, bis das betrachtete Gebäude gelöscht oder ausgebrannt ist.

1. Zunächst ist zu unterscheiden, ob die Absorptionsenergie ausreichend ist oder nicht:

---

<sup>4</sup>In der Feuersimulation des DMT-SIM werden  $20 m^2$  als kritische Größe und 20 Min. als Zeitraum angenommen.

<sup>5</sup>Details des Modells erläutert [Fie04]. Im Weiteren wird es nur soweit beschrieben, wie es zum Verständnis dieser Arbeit notwendig ist.

- a) Wenn die Absorptionsenergie  $e(t)$  größer als  $\bar{b}_{B_i}(t)$  ist: Es wird keine Brandausbreitung berechnet, sondern die vorhandene Leistung  $\bar{b}_{B_i}(t)$  angenommen.
- i. Bei einer *Prognose* wird anhand der brennenden Fläche die notwendige Zeit bis zum Löschen des Gebäudes bestimmt und die Berechnung ist an diesem Punkt beendet.
  - ii. Im Fall einer *dynamischen Simulation* wird die im aktuellen Simulationsschritt aufgebrauchte Absorptionsregie  $e_{real}(t)$  bestimmt und, wie in 2. dargestellt, auf die Stockwerke verteilt.
- b) Wenn die Absorptionsenergie  $e(t)$  kleiner als  $\bar{b}_{B_i}(t)$  ist: Es wird die Brandausbreitung und damit  $\bar{b}_{B_i}(t+1)$  bestimmt. Abhängig vom Umfang der Brandausbreitung wird die verfügbare Absorptionsenergie  $e_{real}(t)$  ermittelt, welche in 2. auf die Stockwerke verteilt wird.
2. Die Verteilung von  $e_{real}(t)$  beginnt beim obersten brennenden Stockwerk. Es wird geprüft, ob die im Zeitschritt  $t$  verfügbare Absorptionsenergie  $e_{real}(t)$  größer ist als die Brandleistung des Stockwerkes  $bl_{B_i}^j(t)$  und somit ausreicht, um dieses zu löschen. Trifft dies zu, gilt das Stockwerk als gelöscht und die dafür benötigte Absorptionsenergie wird von  $e_{real}(t)$  abgezogen. Auf Basis der verbleibenden Energie  $e_{rest}(t) = e_{real}(t) - bl_{B_i}^j(t)$  wird mit dem nächst tiefer gelegenen Stockwerk analog verfahren. Sollte  $e_{rest}(t)$  bei einem Stockwerk nicht mehr ausreichen um es zu löschen, wird dessen Brandleistung um die restliche Absorptionsenergie reduziert und danach die wirkliche Brandleistung  $\bar{b}_{B_i}^{real}(t)$  als Summe der Brandleistungen aller verbleibenden brennenden Stockwerke bestimmt. Danach beginnt der nächste Zeitschritt  $t+1$  mit dem ersten Schritt und der Frage, ob die Absorptionsenergie ausreichend ist.

#### 6.2.2.4. Beziehung Brandschaden und -stärke zu Schadensmodell

Bei der Simulation eines Schadenszenarios müssen die ermittelten Werte in für menschliche Anwender verständliche Beobachtungen umgesetzt werden. Fiedrich [Fie04] beschreibt ein Vorgehen, um von der Brandleistung  $\bar{b}_{B_i}(t)$  und dem bisher entstandenen Schaden bzw. der bisher umgesetzten Wärmemenge  $\bar{w}_{B_i}(t) = \sum_{j=1}^{a_{B_i}^S} \left( \sum_{u=1}^t b_{B_i}^j(u) \right)$ , auf die Schadensklassen als Beschreibung der aktuellen Stärke des Feuers  $f_{B_i}^{St}(t)$  und des bereits entstandenen Schadens  $f_{B_i}^{Ex}(t)$  zu schließen.

Für diese Arbeit ist auch die umgekehrte Fragestellung relevant, eine reale Schadensmeldung als Ausgangsbasis für die Simulation der zukünftigen Entwicklung zu nutzen. Dazu ist ein real beobachteter Schadenszustand auf das interne Schadensmodell der Simulation abzubilden. Die dabei ermittelten Werte dienen als Eingangsdaten für die bereits beschriebene Simulation. Daher berücksichtigt das verwendete

Verfahren die vereinfachenden Annahmen des Simulationsmodells. Es wird vorausgesetzt, dass ein Brand immer im Erdgeschoss ausbricht und sich somit von unten nach oben ausbreitet. Als Folge nimmt der entstandene Schaden in den Stockwerken von unten nach oben ab. Im ersten Schritt werden die Brandleistung  $\bar{b}_{B_i}(t)$  und die verbliebene Wärmemenge  $\dot{w}_{B_i}(t)$  in Abhängigkeit vom gemeldeten Schaden und der Brandstärke bestimmt:

$$\dot{w}_{B_i}(t) = \begin{cases} a_{B_i}^S w_{B_i} & \text{wenn } f_{B_i}^{Ex}(t) = \textit{not burned} \\ a_{B_i}^S w_{B_i} * 0,84 & \text{wenn } f_{B_i}^{Ex}(t) = \textit{low burned} \\ a_{B_i}^S w_{B_i} * 0,5 & \text{wenn } f_{B_i}^{Ex}(t) = \textit{moderately burned} \\ a_{B_i}^S w_{B_i} * 0,2 & \text{wenn } f_{B_i}^{Ex}(t) = \textit{strongly burned} \\ 0 & \text{wenn } f_{B_i}^{Ex}(t) = \textit{burned out} \end{cases}$$

Die Abschätzung der verbliebenen Wärmemenge erfolgt auf Basis der Gesamtwärmemenge des Gebäudes. Analog dazu dient die maximale Brandleistung jedes Stockwerkes  $b_{B_i}^{maxS}$  als Grundlage für die Gesamtbrandleistung des Gebäudes:

$$\bar{b}_{B_i}(t) = \begin{cases} 0 & \text{wenn } f_{B_i}^{St}(t) = \textit{not burning} \\ a_{B_i}^S b_{B_i}^{maxS} * 0,16 & \text{wenn } f_{B_i}^{St}(t) = \textit{low burning} \\ a_{B_i}^S b_{B_i}^{maxS} * 0,5 & \text{wenn } f_{B_i}^{St}(t) = \textit{moderately burning} \\ a_{B_i}^S b_{B_i}^{maxS} * 0,77 & \text{wenn } f_{B_i}^{St}(t) = \textit{high burning} \end{cases}$$

Um die ermittelten Werte auf die einzelnen Stockwerke zu verteilen, ist eine Abschätzung der brennenden  $s_{B_i}^{Brennen}(t)$  und der beschädigten Stockwerke  $s_{B_i}^{Beschädigt}(t)$  notwendig:

$$s_{B_i}^{beschädigt}(t) = \begin{cases} \left[ a_{B_i}^S * 0,16 \right] & \text{wenn } f_{B_i}^{Ex}(t) = \textit{low burned} \\ \left[ a_{B_i}^S * 0,5 \right] & \text{wenn } f_{B_i}^{Ex}(t) = \textit{moderately burned} \\ \left[ a_{B_i}^S * 0,76 \right] & \text{wenn } f_{B_i}^{Ex}(t) = \textit{strongly burned} \end{cases}$$

$$s_{B_i}^{ausgebrannt}(t) = \begin{cases} 0 & \text{wenn } f_{B_i}^{Ex}(t) = \textit{low burned} \\ \left[ a_{B_i}^S * 0,05 \right] & \text{wenn } f_{B_i}^{Ex}(t) = \textit{moderately burned} \\ \left[ a_{B_i}^S * 0,10 \right] & \text{wenn } f_{B_i}^{Ex}(t) = \textit{strongly burned} \end{cases}$$

Die Gesamtzahl der beschädigten Stockwerke ist daher  $s_{B_i}^{gesamt}(t) = s_{B_i}^{beschädigt}(t) + s_{B_i}^{ausgebrannt}(t)$ . Bei der Anzahl der beschädigten Stockwerke ist zu beachten, dass nicht nur vollständig ausgebrannte Stockwerke zu berücksichtigen sind:

$$s_{B_i}^{brennen}(t) = \begin{cases} \left[ a_{B_i}^S * 0,2 \right] & \text{wenn } f_{B_i}^{St}(t) = \textit{low burning} \\ \left[ a_{B_i}^S * 0,55 \right] & \text{wenn } f_{B_i}^{St}(t) = \textit{moderately burning} \\ \left[ a_{B_i}^S * 0,8 \right] & \text{wenn } f_{B_i}^{St}(t) = \textit{high burning} \end{cases}$$

Um den Wert der Gesamtbrandleistung auf die Stockwerke eines Gebäudes zu verteilen, werden, abhängig von der Schadensklasse, Verteilungsfunktionen gewählt. Aufgrund der Annahme, dass ein Feuer im Erdgeschoss beginnt, brennen die obersten

Stockwerke schwächer als die darunterliegenden. Bei tiefer liegenden Stockwerken verringert sich die Brandstärke mit der Zeit, da das brennbare Material aufgezehrt wird. Für ihre Verteilung wird daher die Dichtefunktion einer Standardnormalverteilung  $\mathcal{N}(\mu, \sigma^2)$  gewählt:

$$N(t, B_i) = \begin{cases} d(x) = \mathcal{N}(0; 0, 4); \text{ bound} = 1, 6 & \text{wenn } f_{B_i}^{St}(t) = \text{low burning} \\ d(x) = \mathcal{N}(0; 1); \text{ bound} = 2, 5 & \text{wenn } f_{B_i}^{St}(t) = \text{moderately burning} \\ d(x) = \mathcal{N}(0; 5); \text{ bound} = 5, 8 & \text{wenn } f_{B_i}^{St}(t) = \text{high burning} \end{cases}$$

Bei der Verteilung der bereits entstandenen Schäden auf die jeweiligen Stockwerke wird angenommen, dass die Schäden von oben nach unten zunehmen. Sie erfolgt daher aufgrund einer Exponentialverteilung:

$$E(t, B_i) = \begin{cases} d(x) = \text{Exp}(0, 25); \text{ bound} = 11 & \text{wenn } f_{B_i}^{Ex}(t) = \text{low burned} \\ d(x) = \text{Exp}(0, 5); \text{ bound} = 7 & \text{wenn } f_{B_i}^{Ex}(t) = \text{moderately burned} \\ d(x) = \text{Exp}(1); \text{ bound} = 4 & \text{wenn } f_{B_i}^{Ex}(t) = \text{strongly burned} \end{cases}$$

Die beschriebenen Eingangsparameter werden im Algorithmus 6.1 zu einer Einschätzung der verbliebenen Wärmemenge und der bestehenden Brandleistung in den Stockwerken kombiniert.

---

### Algorithmus 6.1 Bestimme Brandleistung und verbliebene Wärmemenge

---

**Eingabe:** Ein brennendes Gebäude  $B_i$  mit den Schadensklassen für Brandstärke und dem bereits entstandenen Schaden  $f_{B_i}^{St}(t)$  sowie  $f_{B_i}^{Ex}(t)$ .

**Ergebnis:** Brandleistungen jedes Stockwerkes  $b_{B_i}^j(t)$  sowie die noch verbliebene Wärmemenge  $\dot{w}_{B_i}^j(t)$ .

#### Auswertung

1. Bestimme die zu verwendende Dichtefunktion mit ihren Attributen  $n = N(t; B_i)$  sowie  $e = E(t; B_i)$ .
2. Berechne die Brandleistung jedes Stockwerkes:
  - a) Bestimme die Schrittlänge  $StepN = s_{B_i}^{Brennen}(t)/(2 * n.bound)$  zur Abfrage der Dichtefunktion anhand des Wertebereiches der Verteilung und der Anzahl der brennenden Stockwerke  $s_{B_i}^{Brennen}(t)$ .
  - b) Bestimme den Normierungsfaktor  $NormN(t) = 1/(\sum_{k=0}^{s_{B_i}^{Brennen}(t)-1} n.d((k * StepN) - n.bound))$ , der die Summe der Brandleistung über alle Stockwerke auf den ermittelten Gesamtwert des Gebäudes begrenzt.
  - c) Für jede ganze Zahl  $k$  zwischen 0 und  $s_{B_i}^{Brennen}(t) - 1$ :
    - i. Bestimme den Index des betrachteten Stockwerkes  $j = s_{B_i}^{Brennen}(t) + s_{B_i}^{ausgebrannt}(t) - (k + 1)$ .
    - ii. Berechne die Brandleistung  $b_{B_i}^j(t) = \bar{b}_{B_i}(t) * (n.d((k * StepN) - n.bound))$ .
3. Berechne die verbliebene Wärmemenge jedes Stockwerkes:

- a) Für die Stockwerke  $j$  von  $s_{B_i}^{ausgebrannt}(t)$  und 1: Setze Wärmemenge  $\dot{w}_{B_i}^j(t) = 0$ .
- b) Bestimme anhand des Wertebereiches der Verteilung und der Anzahl der beschädigten Stockwerke  $s_{B_i}^{beschädigt}(t)$  die Schrittlänge zur Abfrage der Dichtefunktion  $StepE = a_{B_i}^S / e.bound$ .
- c) Bestimme den Normierungsfaktor  $NormE = 1 / \left( \sum_{k=0}^{s_{B_i}^{beschädigt}(t)-1} e.d((k * StepE) - e.bound) \right)$ .
- d) Für jede ganze Zahl  $k$  zwischen 1 und  $s_{B_i}^{brennen}(t)$ :
- i. Bestimme den Index des betrachteten Stockwerkes  $j = s_{B_i}^{beschädigt}(t) + s_{B_i}^{ausgebrannt}(t) - k$ .
  - ii. Berechne die Brandleistung  $\dot{w}_{B_i}^j(t) = \dot{w}_{B_i}(t) * (e.d((k * StepE)))$ .

Das Ergebnis der Berechnung wird zusätzlich zu den realen Beobachtungen in der Faktenbasis des Agenten abgelegt, allerdings nur von der DMT-SIM Komponente verwendet. Dort dienen die Daten als Anfangswerte für interne Berechnungen. Zur Darstellung für den menschlichen Nutzer werden die Prognose und Simulationsergebnisse immer in die Klassen einer Schadensmeldung umgewandelt. Sobald eine neue reale Beobachtung vorliegt, deren glaubwürdiger höhere eingestuft wird als die bestehende, erfolgt eine Aktualisierung der Simulationsergebnisse auf Basis der neuen Eingangswerte.

### 6.2.3. Brandausbreitung auf Nachbargebäude

Feuer stellen vor allem deshalb ein so hohes Gefahrenpotenzial dar, weil sie sich über den Ort ihres Ausbruchs hinaus ausbreiten können. Gerade in einer dicht bebauten Stadt kann ein Brand schnell auf andere Gebäude übergreifen. Um die möglichen Folgen eines Feuers vollständig zu erfassen, ist daher neben der direkten Gefahr durch den Schaden am brennenden Gebäude, auch die Gefahr seiner Ausbreitung zu berücksichtigen. Dazu kommt im DMT-SIM ein weiteres Modell von Fiedrich [Fie04] zum Einsatz.

Auf Basis der Dauer und der Ausbreitung des Brandes in einem Stockwerk wird die jeweils an den Außenwänden anliegende Brandtemperatur abgeschätzt. Diese und die Öffnungsfläche  $o^{OID}$  des Gebäudes bestimmen die abgegebene Wärmestrahlung der jeweiligen Stockwerke. Für die Öffnungsfläche ist ein Standardwert vorgegeben, der individuell für jedes Gebäude geändert werden kann, falls detaillierte Informationen vorliegen.<sup>6</sup> Der beim Nachbargebäude wirksame Teil der Wärmestrahlung hängt ab vom Abstand und dem Winkelverhältnis der Gebäude zueinander. Auf

<sup>6</sup>Eine genauere Bestimmung der Öffnungsfläche ermöglichen 3-D-Modelle der Gebäude, wie sie Google Street View [THP09] oder andere Quellen [HK10] bereitstellen.

dieser Grundlage wird die Verteilung der Wärmestrahlung der verschiedenen Stockwerke auf das benachbarte Gebäude bestimmt. Relevant ist dabei der Punkt mit der maximalen Erwärmung. Eine Entzündung im Modell erfolgt, wenn dessen Temperatur über einen vorgegebenen Zeitraum oberhalb eines Grenzwertes liegt. Dieser Grenzwert ist abhängig von den bei der Konstruktion eines Gebäudes verwendeten Werkstoffen. Unterschieden wird zwischen Beton, Mauerwerk und Holz. Neben einer Entzündung durch Wärmestrahlung berücksichtigt das Modell Funkenflug in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit und -richtung. Die Windgeschwindigkeit bestimmt die Distanz, in der Funken wirken. Können sie ein Gebäude erreichen, senken sie den zur Entzündung notwendigen Grenzwert der Wärmestrahlung. Die Wirkung des Funkenfluges ist ebenfalls über den Werkstoff des Gebäudes parametrisiert.

#### 6.2.4. Schadensszenarien

Die bisher vorgestellten Simulatoren ermöglichen Prognosen über die Auswirkung verschiedener Gefahrentypen sowie über deren Entwicklung im Zeitverlauf. Direkt nach dem Auftreten des Schadensereignisses ist dies besonders hilfreich, da die Informationen zur Lage in den ersten Stunden oft unzureichend sind. Gerade der Umfang der entstandenen Schäden ist meist unklar. Trotzdem sollte eine Bewältigung schnell anlaufen, um die Verluste von Menschenleben möglichst gering zu halten (vgl. [CSP92]). Szenarien der zu erwartenden Schäden unterstützen die Einplanung der Ressourcen und eine frühzeitige Abschätzung, ob die verfügbaren Kräfte ausreichen oder zusätzliche Unterstützung angefordert werden muss. Im weiteren Verlauf der Katastrophenbewältigung entwickelt sich anhand realer Meldungen aus dem Einsatzgebiet ein Bild der wirklichen Schäden. Diese Informationen sind allerdings noch immer unvollständig und unscharf, da eine visuelle Inspektion nicht alle Folgen eines Schadens erfassen kann. So ist z. B. die Ausbreitung eines Feuers schwer abzuschätzen und von dem strukturellen Schadensbild eines Gebäudes kann nicht direkt auf die Zahl der dort verschütteten Personen geschlossen werden.

Bei allen Möglichkeiten, die Schadensszenarien bieten, ist zu beachten, dass sie mit Unwägbarkeiten versehen sind.<sup>7</sup> Das gilt umso mehr, je detaillierter die Simulation ist. Die Abschätzung des Gesamtschadens in einer Region, wie sie HAZUS typischerweise liefert, betrachtet eine Gruppierung von Gebäuden. Individuelle Fehler und Unsicherheiten in den Abschätzungen relativieren sich in der Gesamtheit. Für jedes Gebäude einzeln betrachtet, trifft das nicht zu. Informationen aus entsprechenden Prognosen dürfen von einem menschlichen Entscheider daher nicht mit realen Fakten gleichgesetzt werden, sondern können ihm nur als Orientierung dienen. Die Vermischung realer und prognostizierter Informationen wird vermieden, indem die Daten von Schadensszenarien in jeweils eigenen Instanzen der Faktenbasis abgelegt

---

<sup>7</sup>Wie in [FEM09] beschrieben, können Unsicherheiten und Zufallseinwirkungen die Berechnungen sehr stark verfälschen.

sind. Die Datenhaltung des DMT ermöglicht es, unabhängig voneinander mehrere Varianten einer Faktenbasis vorzuhalten. Welche davon im MIS dargestellt wird, lässt sich auswählen und jederzeit ändern. Fehlen reale Beobachtungen zu Umweltobjekten, greifen die ADVISOR-Agenten ebenfalls auf diese Fakten zurück.

### 6.2.5. Such- und Rettungsarbeiten bei einem Gebäudeeinsturz

Eingangsparameter für die Simulation der Such- und Rettungsarbeiten an einem Gebäude sind die Leistungsfähigkeit der Einheiten sowie Eigenschaften des zu durchsuchenden Gebietes. Betrachtet werden vollständig oder teilweise kollabierte Gebäude, also solche, deren Schadensklasse größer oder gleich  $DS4a$  ist. Vor dem Simulationslauf sind zunächst die Startparameter zu bestimmen. Dazu werden die Regeln aus Unterabschnitt A.6.1 genutzt. Für ein Gebäude mit  $OID^T$  und einer strukturellen Schadensklasse  $S^I$  bestimmen die Auswertungsterme  $C.Umw.Geb\#Einsturzfläche^C\{OID^T, S^I\}^F$  bzw.  $C.Umw.Geb\#Einsturzvolumen^C\{OID^T, S^I\}^F$  das Volumen der Trümmer sowie die Fläche, über die sie verteilt sind. Dabei kommen Berechnungsfaktoren zum Einsatz, die, abhängig von der Schadensklasse und dem Werkstoff des Gebäudes, mithilfe der Regeln  $R.Umw.Geb\#Volumenfaktor^C\{OID^T, S^I\}^F$  sowie  $R.Umw.Geb\#Flächenfaktor^C\{OID^T, S^I\}^F$  ermittelt werden. Vor allem das Volumen weist, je nach Werkstoff, signifikante Unterschiede auf. Beim Einsturz von Betongebäuden bilden sich Hohlräume aus, was bei Mauerwerk nicht geschieht. Daher gibt es bei Mauerwerk deutliche Unterschiede im Volumen des Trümmerfeldes zwischen teilweise und vollständig kollabierten Gebäuden.

Die Bergung von Verschütteten aus einem Trümmerfeld gliedert sich in eine Such- und die Rettungsphase. Zunächst muss die Position von Verschütteten bestimmt werden. Dies geschieht in der Suchphase. Wie lange die zugewiesenen Einheiten für die Suche benötigen, hängt von der Anzahl der Einsatzkräfte sowie ihrer Leistungsfähigkeit ab. Die Leistungsfähigkeit wird durch die Parameter  $A.Res.Mob.\$CLASS^T\$.\$RID^T\#\$SuchVolumenProMin^T\$Werkstoff^T\$\$^F$  und  $A.Res.Mob.\$CLASS^T\$.\$RID^T\#\$SuchFlächeProMin^T\$Werkstoff^T\$\$^F$  bestimmt. Bei  $\$CLASS^T\$$  wird unterschieden zwischen reinen Sucheinheiten (*Suche*) sowie Such- und Rettungseinheiten (*SAR*). Die Suchleistung wird bedingt von dem Werkstoff ( $Werkstoff^T$ ) des Gebäude sowie der Ausbildung und insbesondere der Ausstattung jedes Teams. Die Ausstattung besteht u. a. aus technischen Hilfsmitteln und/oder Rettungssuchhunden bestehen. Die Suchleistung wird bestimmt durch die Terme

$$C.Res.Mob\#SucheFläche^C\{CLASS^T, RID^T, Werkstoff^T\}^F = \\ A.Res.Mob.\$CLASS^T\$.\$RID^T\#\$SuchFlächeProMin\$Werkstoff^T\$\$^F * \\ A.Res.Mob.\$CLASS^T\$.\$RID^T\#\$Einsatzkräfte$$

sowie

$$C.Res.Mob\#SucheVolumen^C\{CLASS^T, RID^T, Werkstoff^T\}^F = \\ A.Res.Mob.\$CLASS^T\$.\$RID^T\$ \#SuchVolumenProMin^T\$Werkstoff^T\$^F * \\ A.Res.Mob.\$CLASS^T\$.\$RID^T\$ \#Einsatzkräfte.$$

Die eigentliche Suchzeit in Minuten wird durch das Maximum bezogen auf die Fläche oder das Volumen des Trümmerfeldes bestimmt  $\%MAX\{(C.Umw.Geb\#Einsturzfläche^C\{OID^T, S^I\}^F / C.Res.Mob\#SucheFläche^C\{CLASS^T, RID^T, Werkstoff^T\}^F), (C.Umw.Geb\#Einsturzvolumen^C\{CLASS^T, RID^T, Werkstoff^T\}^F / C.Res.Mob\#SucheVolumen^C\{CLASS^T, RID^T, Werkstoff^T\}^F)\}$ .

In der Simulation hängt die Anzahl der Verschütteten, die bei den Sucharbeiten gefunden werden, von den Fähigkeiten der beteiligten Teams ab. Die Wahrscheinlichkeit, einen Verschütteten zu finden, wird in  $A.Res.Mob.\$CLASS^T\$.\$RID^T\$ \#Suchzuverlässigkeit^T\$Werkstoff^T\$^F$  festgelegt. Dieser Gleitkommawert aus dem Intervall ]0, 1[ ist abhängig vom Konstruktionsmaterial des Gebäudes ( $\$Werkstoff^T\$$ ). Bei Trainingssimulationen sind die Verletzten eigenständige Simulationsobjekte, welche im Trümmerfeld verteilt sind. Den Sucheinheiten werden Abschnitte des Trümmerfeldes zugewiesen. Sollten sich in einem Abschnitt Verletzte befinden, bestimmt eine Zufallszahl, kombiniert mit dem Wert  $Suchzuverlässigkeit$ , ob diese gefunden werden.<sup>8</sup>

Die Rettungsarbeiten schließen sich an die Sucharbeiten an. Analog zur Suchleistung bestimmt sich die Leistungsfähigkeit der Rettungskräfte über einen Zeitfaktor, der vom Werkstoff des Gebäudes abhängt. Die Dauer in Minuten, die ein Rettungsteam durchschnittlich für die Bergung eines Verschütteten benötigt, ist in  $A.Res.Mob.\$CLASS^T\$.\$RID^T\$ \#Rettungsleistung^T\$Werkstoff^T\$^F$  festgelegt. Diese Zeit wird in der Trainingssimulation mit einem Zufallswert modifiziert. Nach der Bergung des letzten bekannten Verschütteten sind die Such- und Rettungsarbeiten an einem Gebäude abgeschlossen. Für die folgenden Aufräumarbeiten steht im DMT keine Simulation zur Verfügung.

### 6.2.6. Trainings und Einsatzsimulationen

Wie für die Such- und Rettungseinheiten gezeigt enthält das DMT-SIM, neben Simulatoren der Katastrophenumwelt und den dort auftretenden Schäden, auch solche für in der Umwelt agierende Ressourcen. Sie basieren zum Großteil auf den Arbeiten von Fiedrich und Rickers [Fie04, Ric98]. Die Ressourcensimulatoren interagieren in einem Simulationsszenario mit den Schadenssimulatoren. Einsatzgebiete dieser Simulationen sind Prognosen sowie Übungs- und Trainingszwecke. Um die Simulationsergebnisse verwalten und verarbeiten zu können, haben ADVISOR-Agenten und

<sup>8</sup>Im Fall einer Prognose wird ein vereinfachtes Vorgehen gewählt, bei dem die Anzahl der Verschütteten mit der der „Suchzuverlässigkeit“ multipliziert wird, um damit die Anzahl der gefundenen Verletzten zu ermitteln.

das MIS die Möglichkeit, verschiedene Simulationsläufe der DMT-SIM-Simulatoren als voneinander getrennte Szenarien anzusprechen

### 6.2.6.1. Simulation als Prognosewerkzeug

Die Schadenssimulatoren können unter Rückgriff auf physikalische Eingangsparameter Schadensbilder berechnen. Bei dynamischen Schadensereignissen ermöglichen sie eine Simulation des Verlaufs eines Schadens sowie des Effektes der Arbeit von Einsatzkräften bei der Bekämpfung der Gefahr. Zu Letzterem ist eine Interaktion zwischen Schadens- und Ressourcensimulation nötig, wie sie z. B. bei der Simulation der Löscharbeiten genutzt wird. Ausgangspunkt jedes Prognoseszenarios ist eine Kopie der Faktenbasis, die alle aktuell bekannten Informationen enthält, wie z. B. Position und Zustand von Ressourcen sowie Gefahrenquellen. Das Ergebnis der Simulation wird in einer neuen Instanz der Faktenbasis abgelegt, jeweils getrennt von weiteren Szenarien und realen Fakten. Eine gegebene Ausgangslage in der Faktenbasis und Befehle an Ressourcen im Postausgang können als Ausgangspunkt für die Simulation eines Ereignisverlaufs dienen, welcher die Konsequenzen der Befehle prognostiziert. Um die Planung von Einsatzplänen zu unterstützen, können die Fakten der Ausgangslage auch auf einer Schadenssimulation beruhen.

Bei der Interaktion mit der DMT-SIM-Komponente kommt das in Abschnitt 9.5 beschriebene Austauschformat zum Einsatz. Es ermöglicht u. a. die Weitergabe der Faktenbasis eines ADVISOR-Agenten an die Simulationsumgebung. Mit Ausnahme von Simulationen für Schulungen hat ein Simulationsszenario einen vorgegebenen Endzeitpunkt. Je nach verfügbarer Rechenkapazität und Umfang des Szenarios ist eine Simulation des Verlaufs mehrerer Stunden nach wenigen Minuten oder gar Sekunden abgeschlossen. Das MIS dient zur Anzeige der Ergebnisse eines Szenarios. Auf der Oberfläche kann zwischen der Darstellung des realen Lagebildes und verschiedenen Simulationsszenarien gewechselt werden. Neben dem Endzustand des Simulationslaufs in den Fakten eines Szenarios können auch die während der Simulation versendeten Meldungen eingesehen werden. Über die Nachrichtenhistorie eines Szenarios kann sein Verlauf und über den Endzustand der Umweltobjekte dessen Ergebnis inspiziert werden. Über die Nachrichtenhistorie lässt sich jeder beliebige Zeitpunkt in der Simulation inspizieren. Die Prognosen können im DMT zur Unterstützung der Einsatzvorbereitung und bei der Entscheidungsunterstützung im Katastropheneinsatz (siehe Abschnitt 8.4) genutzt werden.

Oft werden zur Einsatzvorbereitung auf Großschadens- und Katastrophenlagen im Voraus Pläne entwickelt, die den Bedarf und den Einsatz von Ressourcen für bestimmte Schadensszenarien prognostizieren. Bei vorhersehbaren Schadensverläufen, wie z. B. einem Hochwasser, kann ein sehr detaillierter Plan mit genauen Handlungsanweisungen entwickelt werden. Im Fall eines Erdbebens sind Ausgangssituation und Verlauf dagegen so unsicher, dass lediglich eine Abschätzung des Schadensumfangs und Ressourcenbedarfs möglich ist. In beiden Fällen können Simulationen bei

der Entwicklung und Verbesserung von Plänen unterstützen. Im Fall eines vorhersehbaren Handlungsverlaufs können unterschiedliche Einsatzpläne von Ressourcen durchgespielt werden, um so eine optimale Kombination zu finden. Ist die Ausgangssituation unsicher, helfen die Erkenntnisse aus unterschiedlichen Szenarien dabei, ein Bild über die möglichen Gegebenheiten und den Ressourcenbedarf zu entwickeln.

#### 6.2.6.2. Weitere Simulatoren bei der Übungssimulation

Bei Übungen und Schulungen ermöglichen es die Simulatoren des DMT, den Verlauf eines vorgegebenen Schadensszenarios, unter Berücksichtigung von Entscheidungen zum Ressourceneinsatz, in Echtzeit zu simulieren. In diesem Trainingsszenario können mehrere Personen nicht nur die Bewältigung der Schadenslage, sondern auch die Zusammenarbeit als Führungsstab trainieren. Wie bei einer realen Katastrophe haben die Übenden initial keine Kenntnis über die Gefahrenquellen im Einsatzgebiet. Dieses entwickelt sich anhand von Meldungen aus dem Einsatzgebiet, welche von simulierten Einsatzkräften sowie aus einer *Master Scenario Event List* (MSEL) mit festgelegten Nachrichten stammen. Durch die Simulation können Szenarien mit einem geringeren Aufwand für die Übungsleitung schnell erstellt und angepasst werden. Ohne technische Unterstützung ist für die Vorbereitung und Durchführung von Übungen eine größere Anzahl an Personen nötig. Eine Simulation kann die Übungsleitung deutlich entlasten und ermöglicht eine größere Dynamik des Szenarioverlaufs, indem sich z. B. die individuelle Entwicklung jeder Schadensquelle unter Berücksichtigung des Ressourceneinsatzes ermitteln lässt.

Die bisher vorgestellten Simulationsagenten können bei Übungen durch weitere ergänzt werden. Neben der Anzahl der Verschütteten ist auch deren Gesundheitszustand von Interesse. Real hängt ihre Überlebenswahrscheinlichkeit davon ab, wie schnell sie geborgen und behandelt werden. Daher wird in der Simulation jedem Verschütteten ein initialer Gesundheitszustand zugewiesen, der sich im Zeitverlauf verschlechtert. Dabei wird der Werkstoff des eingestürzten Gebäudes berücksichtigt.<sup>9</sup> Weitere Simulatoren stellen auf Räumungsarbeiten von Straßenabschnitten ab. Ursache für eine Straßenblockade kann z. B. die Beschädigung von Gebäuden oder Brücken sein. Je nach Art und Menge der Trümmer arbeiten mehrere Instanzen der Ressourcentypen Bulldozer, Bagger, Kran, Walze, Lastkraftwagen und Lader zusammen, um Blockaden in einem abgestimmten Prozess zu beseitigen (vgl. [Ric98]). Der Zeitaufwand ist abhängig vom Volumen der Trümmer und der Leistungsfähigkeit der eingesetzten Ressourcen.

---

<sup>9</sup>Aufgrund der Art des Werkstoffes lässt sich die Verletzungsgefahr beim Einsturz sowie die Art der Trümmerschichtung und Hohlraumbildung bestimmen. Diese Faktoren sind für die Überlebenswahrscheinlichkeit eines Verschütteten entscheidend.

## 6.3. Abgeleitete Fakten

Eine Schadensmeldung auf Basis einer visuellen Inspektion enthält kein vollständiges Bild vom Umfang des Schadens oder von möglichen sekundären Auswirkungen. Das Bild eines strukturellen Gebäudeschadens quantifiziert z. B. nicht die Anzahl der verletzten und verschütteten Personen. Dazu ist eine genauere Untersuchung des Gebäudes notwendig, die wegen knapper Ressourcen und mangelnder Zeit selten sofort erfolgt. Als Ergänzung zu den Simulatoren, welche die Folgen einer Katastrophe anhand mathematischer Modelle berechnen, enthalten die ADVISOR-Agenten Regeln, die mögliche Folgen realer oder simulierter Fakten prognostizieren. Neben der Ergänzung von Simulationsszenarien sind diese vor allem hilfreich, um eine kooperative Beurteilung der Lage durch Mensch und Softwareagent zu unterstützen (siehe Abschnitt 8.2). Dies beruht auf der Möglichkeit der Fakten- und Wissensbasis zum Inferenzschluss (siehe auch Abschnitt 5.5). Ausdrücke in Wenn-Dann-Form erschließen dabei aus vorhandenen Fakten neue Informationen (siehe Unterunterabschnitt 4.3.2.1 sowie Abschnitt A.1.3).

Beispiele für abgeleitete Fakten sind die Abschätzungen der Anzahl verletzter Personen sowie die Riskobewertungen für den Ausbruch eines Brandes oder den Austritt von Gefahrstoffen. Die meisten dieser Fakten ergeben sich aufgrund realer Beobachtungen. Daher muss ein Systemnutzer unterscheiden können, ob Fakten abgeleitet sind oder auf eine reale Beobachtung zurückgehen. Bei abgeleiteten Fakten ist die Glaubwürdigkeit der zugrunde liegenden Fakten wichtig. Zur Unterscheidung dient jeweils der Term  $F.Umw.TYP.T.OID.T.\#\$Faktenbezeichner.T\$Abgeleitet^B$ . Initial hat er den Wert *Falsch*, bei abgeleiteten Fakten ist er *Wahr*. In der Oberfläche des MIS sind entsprechende Fakten durch farbliche Hinterlegung gekennzeichnet oder mit einem erläuternden Tooltip<sup>10</sup> versehen.

Die schriftliche Darstellung der Regeln erfolgt im Weiteren in der in Abschnitt 5.5 vorgestellten Form. Die in der Fakten- und Wissensbasis des DMT definierte Sprache zur Regelbeschreibung ist auch für Experten ohne Programmierkenntnisse verständlich, sodass diese direkt Veränderungen und Erweiterung der Wissensbasis vornehmen können<sup>11</sup>. Dies ermöglicht eine kontinuierlich Anpassung und Verbesserung der Hilfestellungen. Die im Folgenden vorgestellten Regeln für Erdbebenkatastrophen basieren auf Erfahrungen aus realen Übungen, der Befragung von Experten und Literaturrecherchen (siehe dazu Kapitel 10).

### 6.3.1. Abschätzung der Anzahl betroffener Personen

Ein wichtiges Kriterium bei der Priorisierung von Einsatzorten ist die Anzahl der dort betroffenen Personen. Selten kann dafür auf einen genauen Wert, z. B. aus einer

<sup>10</sup>„Ein Tooltip ist ein kleines Pop-up-Fenster in Anwendungsprogrammen oder Webseiten. Es zeigt eine Beschreibung zu einem Element der grafischen Benutzeroberfläche.“ (siehe [Wik15])

<sup>11</sup>In ihrer Struktur ist die Fakten- und Wissensbasis des DMT eine externe Domänen-spezifische Sprache (vgl. [Fow10]).

Meldung durch Einsatzkräfte, zurückgegriffen werden. Eine Abschätzung ist daher notwendig. Diese geht davon aus, dass die Anzahl der an einem Ort anwesenden Personen von dem Zeitpunkt und der Art seiner Nutzung abhängt. Im Weiteren werden nur betroffene Personen in Gebäuden betrachtet. Andere Orte wie öffentliche Plätze oder Bürgersteige werden außen vor gelassen. Sollte bereits eine reale Meldung existieren, findet keine Berechnung statt. Diese ist auch nicht nötig, falls für ein Gebäude detaillierte Informationen bezüglich der dort lebenden Personen existieren, durch die eine direkte Ableitung der Anzahl der Anwesenden zu einem Zeitpunkt möglich ist. Solche Daten können u. a. durch Volkszählung erfasst werden und sind z. B. bei dem zuständigen Einwohnermeldeamt verfügbar. Meist liegen allerdings entsprechende Daten nicht vor. Es erfolgt eine Abschätzung nach folgendem Schema.

Grundlagen sind der Zeitpunkt sowie die Nutzungsklasse und Fläche eines Gebäudes. Unterschieden werden die in Kapitel 5 beschriebenen Nutzungsklassen. Beim Zeitpunkt wird zwischen Arbeitstagen ( $Wochentag \leq 5$ ), Wochenenden ( $8 > Wochentag > 5$ ) und Feiertagen ( $Wochentag = 8$ ) unterschieden. Bei der Uhrzeit gibt es die Klassen Nachtstunden ( $Uhrzeit = 'Nacht'$ ), Berufsverkehr ( $Uhrzeit = 'Berufsverkehr'$ ) und Arbeitszeit ( $Uhrzeit = 'Arbeitszeit'$ ) (siehe dazu [FEM09]).

Sind detaillierte Daten über die in einem Gebäude befindlichen Personen für einen Zeitpunkt verfügbar, liegen diese Werte in den Termen  $A.Umw.Geb.OID^T \# Personen^I$ . Oft ist aber nur die Zahl der in einem Gebäude gemeldeten Personen  $A.Umw.Geb.OID^T \# Personen^I$  bekannt. Gerade bei kommerziellen Gebäuden ist auch diese Zahl meist nicht verfügbar. Zur Prognose der in einem Gebäude anwesenden Personen wird abhängig von der Nutzungsklasse eine durchschnittliche Anzahl von Personen pro Quadratmeter angenommen. Damit und mit der Grundfläche sowie der Zahl der Stockwerke eines Gebäudes kann eine Schätzung erfolgen. Ihre Beschreibung findet sich u. a. in den technischen Manuals der FEMA [FEM11, ?].

Der Wert  $A.Umw.Geb.OID^T \# Personen^I$  ist nicht zu jedem Zeitpunkt gleich. Um dies zu berücksichtigen, wird er mit einem vom Gebäudetyp und der Uhrzeit abhängigen Faktor (z. B.  $P.Umw.Geb \# FKommerzNacht$ ) multipliziert.<sup>12</sup> Zur Vereinfachung sind im DMT die Faktoren für Wochenenden ( $SchadenWochentag = 6$  oder  $7$ ), Feiertage ( $SchadenWochentag = 8$ ) und Nachtzeit ( $Uhrzeit = 'Nacht'$ ) gleich. Die Berechnung erfolgt durch zwei Regeln (siehe Unterabschnitt A.6.2). Die Regel  $R.Umw.Geb \# PersonenErwarteteBetroffene^R \{OID^T\}^{L(*)}$  dient dazu den Wochentag zu bestimmen, auf dessen Basis in  $R.Umw.Geb \# PersonenImGeb^R \{OID^T, AID^T, ZEIT^T\}^{L(*)}$  die Abschätzung der im Gebäude anwesenden Personen erfolgt. Neben der Uhrzeit ( $'Nacht'$ ,  $'Arbeitszeit'$ ,  $'Berufsverkehr'$ ) wird dabei die Nutzungsklasse berücksichtigt.

Die Datenbasis des in dieser Arbeit betrachteten Szenarios enthält für die meisten Gebäude die einer Uhrzeit zugeordnete Anzahl der Personen. Falls nicht, wird diese mit den dargestellten Regeln ermittelt. Das dafür genutzte Vorgehen liefert nur

<sup>12</sup>Ein entsprechendes Verfahren für Zensus-Daten findet ebenfalls in [FEM11] Anwendung.

eine Näherung und bietet durchaus Raum zur Verfeinerung. Für das Wochenende könnte z. B. ein eigener Multiplikator definiert werden. Die entsprechenden Werte, die regional deutliche Unterschiede aufweisen können, müssten allerdings zunächst ermittelt werden.

### 6.3.2. Mögliche Folgen von Gebäudeschäden

Die Folgen der strukturellen Schäden an einem Gebäude sind für die Beurteilung seiner Priorität oft wichtiger als der eigentliche Schadensumfang. Fakten wie Personenschäden oder Folgegefahren, wie der Ausbruch eines Feuers oder der Austritt gefährlicher Substanzen, haben großes Gewicht. Lassen entsprechende Werte sich nicht aufgrund von Meldungen bestimmen, können sie aus dem Schadensumfang abgeleitet werden.

#### 6.3.2.1. Glaubwürdigster Zustand

Über den Zustand eines Gebäudes können widersprüchliche Informationen vorliegen. Er wird daher der aktuell glaubwürdigste Schadenszustand bestimmt. Dessen Schadensklasse dient als Ausgangsbasis für die weiteren Ableitungen. Die entsprechende Regel für strukturelle Schäden  $R.Umw.Geb\#StrukturschadenGlaubwürdigster^R\{OID^T\}^{L(*)}$  ist in Unterabschnitt A.6.3 dargestellt. Ihre Ergebnisse sind in den Termen  $\#Schadensklasse^I$  und  $\#Glaubwürdigkeit^F$  der Regel abgelegt. Analog zu strukturellen Schäden existieren mit  $R.Umw.Geb\#FeuerschadenGlaubwürdigster^R\{OID^T\}^{L(*)}$  sowie  $R.Umw.Geb\#FeuerstärkeGlaubwürdigster^R\{OID^T\}^{L(*)}$  Regeln zur Bestimmung des glaubwürdigsten Schadensumfangs und Ausmaßes eines Feuers. Der Feuerschaden ist durch eine ganze Zahl zwischen 0 (*not burned*) und 5 (*burned out*) kodiert. Entsprechend hat die Feuerstärke einen Wert von 0 (*not burning*) bis 3 (*high burning*).

#### 6.3.2.2. Opferbestimmung

Das Hauptziel bei der Bewältigung jedes Schadensereignisses ist, den Verlust von Menschenleben möglichst gering zu halten. Die Anzahl verletzter Personen ist daher ein zentrales Beurteilungskriterium. Sollten keine aktuellen Informationen aus dem Einsatzgebiet verfügbar sein, können Prognosen Anhaltspunkte bieten. Eine Abschätzung der Opferzahl erfolgt im DMT auf Basis der bekannten sowie zu erwartenden Gefahren bei einem Gebäude, seinem Werkstoff und der Anzahl der zum Zeitpunkt des Schadensereignisses anwesenden Personen (siehe Unterabschnitt 6.3.1). Ein an das Datenmodell des DMT angepasstes Verfahren aus HAZUS wird dazu verwendet.

Abhängig von der Nutzungsklasse und dem Beschädigungsgrades eines Gebäudes wird die Wahrscheinlichkeit der verletzten Personen in vier Klassen (*Severity* 1 bis

4) abgeschätzt (vgl. [FEM09], Kapitel 13 - Direct Social Losses - Casualtis). Den *Severity* Klassen  $S1$  bis  $S4$  aus HAZUS sind die Triageklassen  $T1$  bis  $T5$  aus dem DMT wie folgt zugeordnet:

Triageklasse	Severity
$T1$	$0,8 * S3$
$T2$	$S2$
$T3$	$S1$
$T4$	$(0,2 * S3) + (0,4 * S4)$
$T5$	$0,6 * S4$

Für die Triageklasse  $T0$  gilt  $T0 = F.Umw.Geb.\$OID^T\$ \# PersonenBetroffenePersonen^I - (T1 + \dots + T5)$ . Das beschriebene Vorgehen ist im Term  $R.Umw.Geb\# ProgStrukturschadenTriage^R\{OID^T, Anzahl^I\}^{L(*)}$  der Wissensbasis abgelegt. Den der Berechnung zugrunde liegenden Schadensumfang bestimmt  $R.Umw.Geb\# StrukturschadenGlaubwürdigster^R\{OID^T\}^{L(*)}$ . Sollten für die anwesenden Personen bestätigte Informationen vorliegen, werden diese im Attribut  $Anzahl^I$  übergeben, ansonsten bestimmt  $R.Umw.Geb\# PersonenErwarteteBetroffene^R\{OID^T\}^{L(*)}$  (siehe Unterabschnitt 6.3.1) den zu erwartenden Wert. Die ermittelte Personenzahl pro Triageklasse lässt sich in den Ergebnistermen von  $R.Umw.Geb\# ProgStrukturschadenTriage^R\{OID^T, Anzahl^I\} \# T1 \setminus T2 \setminus T3 \setminus T4 \setminus T5 \setminus Glaubwürdigkeit^F \setminus Zeitpunkt^I \setminus Abgeleitet^B$  abfragen. Dabei übernimmt die Regel die Werte von  $Glaubwürdigkeit^F$  und  $Zeitpunkt^I$  aus  $R.Umw.Geb\# StrukturschadenGlaubwürdigster^R\{OID^T\}^{L(*)}$ . Der Wert für  $Abgeleitet^B$  ist *Wahr*.

Sind für ein Gebäude nur Eingangsdaten aus einer Simulation verfügbar, wird das Ergebnis von  $R.Umw.Geb\# ProgStrukturschadenTriage^R\{OID^T, Anzahl^I\}^{L(*)}$  direkt in seinen Fakten abgelegt. Sie finden sich in  $F.Umw.Geb.\$OID^T\$ \# Personenschaden \oplus T0 \setminus T1 \setminus T2 \setminus T3 \setminus T4 \setminus T5 \oplus Erwartet^I$  sowie  $F.Umw.Geb.\$OID^T\$ \# Personenschaden \oplus Glaubwürdigkeit^F \setminus Zeitpunkt^I \setminus Abgeleitet^B$ . Liegen für ein Gebäude dagegen reale Beobachtungen vor, werden die Prognoseergebnisse nicht automatisch in der Faktenbasis ergänzt. Die Gesamtzahl der Verletzten  $C.Umw.Geb\# PersonenschadenGeschädigteAnzahl^R\{OID^T\}^F$  ergibt sich in beiden Fällen durch das aufsummieren der Werte in den Termen  $\# Personenschaden \oplus T1 \setminus T2 \setminus T3 \setminus T4 \oplus Erwartet^I$ .

Bei umfangreichen strukturellen Schäden ist ein Teil der Verletzten oft nicht direkt zugänglich, sondern verschüttet. Mithilfe von EQSIM kann die Gefahr dafür quantifiziert werden, dass ein Gebäude aufgrund seiner Schäden teilweise ( $DS4a$  und  $DS4b$ ) oder vollständig ( $DS5$ ) kollabiert ist. Unabhängig davon, ob die strukturelle Schadensmeldung auf einer Prognose oder einer realen Meldung beruht, kann EQSIM abschätzen, mit wie vielen Verschütteten bei einem Schadensbild gerechnet werden muss. Dazu wird auf ein Verfahren von Schweier und Markus [SM06]

zurückgegriffen. Die entsprechende Java-Methode wird in Fakten- und Wissensbasis unter  $C.Umw.Geb.Bestimme\#Verschüttete^R\{OID^T, StrSchKl\}^F$  referenziert, um sie direkt in Regeln verwenden zu können. Sie nutzt Informationen zum Gebäude, wie die zum Zeitpunkt des Einsturzes anwesenden Personen  $F.Umw.Geb.\$OID^T\#\$PersonenBetroffenePersonen^I$ , den bei der Konstruktion hauptsächlich verwendeten Werkstoff sowie die geophysikalischen Parameter des Bebens. Die strukturelle Schadensklasse, die der Berechnung zugrunde liegen soll, wird als Parameter an die Methode übergeben. Im konkreten Fall ist dies die aktuell glaubwürdigste Schadensmeldung. Das Ergebnis der Prognose ist in den Faktentermen  $F.Umw.Geb.\$OID^T\#\$PersonenschadenVerschüttete \oplus Anzahl^I \setminus Glaubwürdigkeit^F \setminus Zeitpunkt^I$  abgelegt.

### 6.3.2.3. Gefahrstoffe

Erdbebenschäden oder Feuer können in einem Gebäude zur Freisetzung gefährlicher Substanzen führen. Deren Detektion ist für Einsatzkräfte ohne Spezialausrüstung schwierig, weshalb den Verantwortlichen das Risiko einer entsprechenden Gefahr bekannt sein sollte (vgl. [MSR01]). In der Faktenbasis wird bei gefährlichen Substanzen zwischen festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen unterschieden. Deren Auswirkung ist eingeteilt in explosive, brennbare oder brandfördernde, ansteckende, giftige, radioaktive, ätzende oder reizende sowie umweltgefährdende Substanzen.<sup>13</sup> Daraus ergibt sich die folgende Matrix:

	Fest	Flüssig	Gasförmig
Explosiv			
Brennbar			
Ansteckend			
Giftig			
Radioaktiv			
Ätzend			
Umweltgef.			

**Tabelle 6.1.:** Gefahrstoffklassifikation im DMT

Informationen zu Gefahrstoffen sind analog zu den übrigen Attributen des Gebäudes als Terme unter  $A.Umw.Geb.\$OID^T\#\$\$Gefahrenbezeichner\$\$$  gespeichert. Der Bezeichner der Gefahr entspricht der Klassifikation der in Tabelle 6.1 dargestellten

<sup>13</sup>Dieses Vorgehen ist an der Gefahrstoffklassifikation angelehnt, die auch im Katastrophenschutz verwendet wird (siehe [ZMS00]).

Matrix ( $\#Form!AuswirkungAttributName$ ). Die Beschreibung der jeweiligen Gefahrstoffe erfolgt anhand von drei Termen:

- $Form!AuswirkungBeschreibung^T$  ist eine Freitextbeschreibung des Gefahrstoffs, welche z. B. als Erläuterung für den Anwender angezeigt wird.

- $Form!AuswirkungSicherheit^I = \begin{cases} 1 & \text{Sicherheit ist optimal} \\ 2 & \text{Sicherheit ist gut} \\ 3 & \text{Sicherheit ist befriedigend} \\ 4 & \text{Sicherheit ist schlecht} \end{cases}$

klassifiziert, wie gut ein Gefahrstoff abgesichert ist, also wie leicht er durch gewaltsames Einwirken von außen freigesetzt werden kann. Unterschieden werden die vier Klassen *optimal*, *gut*, *befriedigend* und *schlecht*, repräsentiert durch die ganzzahligen Werte 1 bis 4.

- $Form!AuswirkungPotenzial^I = \begin{cases} 0 & \text{kein Gefahrenpotenzial} \\ 1 & \text{Gefahrenpotenzial ist gering} \\ 2 & \text{Gefahrenpotenzial ist mittel} \\ 3 & \text{Gefahrenpotenzial ist hoch} \end{cases}$

beschreibt das Gefahrenpotenzial, das eine Freisetzung des Stoffes hätte. Dieses wird in die vier Klassen *hoch*, *mittel*, *gering* und *keines* unterteilt.

Das *Potenzial* an Gefahr eines Stoffes ergibt sich aus seiner Menge unter Berücksichtigung der Gefährlichkeit für Menschen und Umwelt. Die *Sicherheit* wirkt umgekehrt zu den Schadensklassen. Bei strukturellen Schäden bis zur Schadensklasse *DS1* bietet eine *schlechte* Sicherheit Schutz. Eine *befriedigende* Sicherheit schützt die Stoffe bis *DS2* und eine *gute* bis *DS3*. Nur eine Sicherheit der Stufe *optimal* ist gegen Schäden ab der Klasse *DS4* effektiv. Gegen ein Feuer bietet eine *schlechte* Sicherheit Schutz bis zur Klasse *slightly burned*, eine *befriedigende* bis *moderately burned* und eine *gute* bis *strongly burned*. Ist ein Gebäude ausgebrannt (*burned out*), verhindert eine Absicherung auf der Stufe *optimal* die Freisetzung der Gefahrstoffe. Das Datenmodell sieht vor, dass pro Klasse von Gefahrstoffen (Kombination von Auswirkung und Form) nur für einen Stoff Sicherheit und Potenzial abgelegt werden können. Existieren mehrere verschiedene, werden die Werte desjenigen mit der höchsten Summe der Werte für Potenzial und Sicherheit gewählt. Zusätzlich kann eine Beschreibung der anderen Stoffe im Freitextfeld enthalten sein.

Aus den erfassten Schäden und den Informationen zu den Gefahrstoffen einer jeweiligen *Form* wird anhand der Regel  $R.Umw.Geb\#Gefahrstoffgef\u00e4hrdung^R\{OID^T, Form, Auswirkung\}^{L(*)}$  (siehe Unterabschnitt A.6.3) die ausgehende *Gef\u00e4hrdung^I* abgeleitet. Ihr zugrunde liegt der glaubw\u00fcrdigste Gefahrentyp. Weist ein Gebäude einen Feuerschaden und einen strukturellen Schaden auf, wird der Typ mit der h\u00f6chsten Glaubw\u00fcrdigkeit gew\u00e4hlt. Anhand der Schadensklasse und der Schutzklasse des Geb\u00e4udes wird die Gef\u00e4hrdung bestimmt. Sie ist in der Faktenbasis im Term  $F.Umw.Geb.OID^T\#\#Form!AuswirkungGef\u00e4hrdung^I$  abgelegt. Deswegen Wert zwischen 0 (*keine*) und 3 (*hoch*) repr\u00e4sentiert die vier Gef\u00e4hrdungsklassen.

sen *hoch*, *mittel*, *gering* und *keine*. Der Aufbau ist analog zur Ablage von Daten von Struktur- oder Feuerschäden. Die Glaubwürdigkeit der Gefährdungsanalyse entspricht der des zugrunde liegenden Schadens  $R.Umw.Geb\#$   $StrukturschadenGlaubwürdigster^R\{OID^T\}^{L(*)}$  bzw.  $R.Umw.Geb\#$   $FeuerschadenGlaubwürdigster^R\{OID^T\}^{L(*)}$ . Existiert eine reale Beobachtung zu einer Gefährdung, wird deren Glaubwürdigkeit beibehalten. ADVISOR-Agenten wenden die Regel auf jedes beschädigte Gebäude im Einsatzgebiet an. Das Ergebnis wird u. a. dazu genutzt, die Gebäude in der Karte entsprechend einzufärben sowie eine nach *Gefährdung*<sup>I</sup> geordnete Liste zu erstellen. Bei mehreren Gefahrstoffen bestimmt auf der Karte wie auf der Liste der höchste Gefährdungswert die Einordnung.

Gefahrstoffe können sich, gerade wenn sie gasförmig sind, im Einsatzgebiet ausbreiten. Sie sind als Gefahr für Einsatzkräfte und vor allem Zivilisten daher schwer einschätzbar. Für die Simulation der Ausbreitung von Aerosolen existieren mehrere Modelle. Am Markt sind Systeme wie z. B. DISMA® (rechnergestütztes Beratungssystem für das Krisenmanagement bei chemischen Unfällen) verfügbar. Wie die anderen Schadenssimulatoren könnten sie in das DMT integriert werden. Dies wurde im Rahmen der Arbeit nicht umgesetzt. Wird die Gefahrstoffausbreitung aber bei der Risikobeurteilung durch den Anwender bewertet (vgl. Abschnitt 6.5), berücksichtigen die ADVISOR-Agenten dies.

### 6.3.2.4. Ausbruch eines Feuers

Feuer als Folge eines Erdbebens besitzen ein großes Gefahrenpotenzial, welches die Schäden durch das Beben sogar übersteigen kann (vgl. [SES05]). Gründe sind die multiplen Brandherde und die erschwerten Bedingungen der Einsatzkräfte bei der Bekämpfung von Feuern, die sich u. a. durch Schäden an der Infrastruktur sowie dem Mangel an Einsatzkräften und deren Aufsplitterung ergeben. Auch zur Vorhersage von Bränden nach Erdbeben existieren Modelle (siehe z. B. [RX04]). Für das Testgebiet liegen allerdings nicht die notwendigen Eingangsdaten vor. Daher wurde ein vereinfachtes Modell gewählt, das sich auf Experteneinschätzungen sowie den Brandsimulator des DMT stützt. Die bereitgestellten Informationen sollen den Entscheidungsträger bei der Einschätzung unterstützen, mit wie viel Bränden noch gerechnet werden muss bzw. wie viel Ressourcen zur Brandbekämpfung noch nötig sein könnten.

Zunächst wird die grundsätzliche Gefahr für einen Brand bestimmt. Dazu sind die Gebäude im Untersuchungsgebiet anhand ihrer konstruktiven Merkmalen in Klassen eingeteilt. Für jede dieser Klassen gibt eine Experteneinschätzung die Gefahr einer Entzündung vor. Bei den Gefahren werden die Stufen *kritisch*, *hoch*, *mittel* oder *gering* unterschieden, die in der Faktenbasis durch die Werte 1 (*kritisch*) bis 4 (*gering*) repräsentiert sind. Die Klassenmerkmale gliedern sich in drei Dimensionen. Die Erste ist das verwendete Baumaterial mit den Ausprägungen Beton, Stein oder Holz (Unterunterabschnitt 5.3.1.3). Die Zweite ist das Attribut

$A.Umw.Geb.OID^T \# HatBrandschutz^B$ , welches beschreibt, ob spezifische brandhemmende Maßnahmen vorhanden sind. Die letzte Dimension berücksichtigt den Erdbebencode  $A.Umw.Geb.OID^T \# Erdbebencode^I$ , also ob und welche speziellen Vorgaben zum Erdbebenschutz beim Bau des Gebäudes berücksichtigt worden sind. Das auf Basis dieser Matrix festgelegte Gefahrenpotenzial erhöht sich, falls die Gefahrstoffbeurteilung brennbare oder explosive Substanzen im Gebäude ausweist. Liegt *keine* Gefährdung vor oder ist sie *gering*, verändert dies die Brandgefahr nicht. Ist die Gefährdung *mittel*, erhöht dies die Einstufung um eine, ist sie *hoch*, um zwei Klassen. Das Vorgehen findet sich in der Regel  $R.Umw.Geb \# FeuerschadenBrandgefahr^R \{OID^T\}^{L(*)}$  (siehe Unterabschnitt A.6.3). Diese speichert ihr Ergebnis im Term  $F.Umw.Geb.OID^T \# FeuerschadenBrandgefahr^I$  der Faktenbasis.

Auf Basis der allgemeinen Brandgefahr  $F.Umw.Geb.OID^T \# FeuerschadenBrandgefahr^I$  für ein Gebäude und seiner strukturellen Schädigung werden in  $R.Umw.Geb \# FeuerschadenGefahrenfaktor^R \{OID^T\}^{L(*)}$  die Werte für Gefahren- und Schadensfaktor ermittelt. Aus deren Produkt ergibt sich der Term  $E.Umw.Geb.OID^T \# FeuerschadenBrandgefahr^I$ . Dieser drückt in einer ganzzahligen Skala von 0 bis 100 die Gefahr aus, dass in dem Gebäude nach einem Erdbeben ein Brand ausbricht. Der Wert ist nicht intuitiv verständlich, sondern dient der Einordnung und dem Vergleich. Auf seiner Grundlage erfolgt eine dynamische Zuordnung zu einer *Brandgefahrenklasse*, die dem Anwender eine Übersicht über alle gefährdeten Gebäude gibt. Das entsprechende Verfahren beschreibt Algorithmus 6.2.

---

### Algorithmus 6.2 Risiko für das Ausbrechen eines Brandes

---

**Eingabe:** Liste aller Gebäude im Einsatzgebiet  $G$ .

**Ergebnis:** Eine Liste  $Ext.FeuerschadenBrandgefahr$  mit allen Gebäuden im Einsatzgebiet, die eine Brandgefahr ausweisen, sowie die konkrete Ausprägung der Gefahr in den Termen  $E.Umw.Geb.OID^T \# FeuerschadenBrandgefahrenklasse^I$  und  $E.Umw.Geb.OID^T \# FeuerschadenBrandgefahr^I$ .

#### Vorbereitung - Ermittelte gefährdete Gebäude

1. Ermittle aus  $G$  eine Liste aller strukturell beschädigten Gebäude im Einsatzgebiet.
2. Füge die  $OID$  der gefährdeten Gebäude der Liste  $Ext.FeuerschadenBrandgefahr$  hinzu.

#### Auswertung

1. Für jedes Gebäude mit  $OID$  in  $Ext.FeuerschadenBrandgefahr$ :
  - a) Ermittle den Wert für die Terme  $E.Umw.Geb.OID^T \# FeuerschadenBrandgefahr^I$  anhand von  $R.Umw.Geb \# FeuerschadenGefahrenfaktor^R \{OID^T\}^F$ .
2. Sortiere die Gebäude in  $Ext.FeuerschadenBrandgefahr$  aufsteigend anhand des Wertes im Term  $E.Umw.Geb.OID^T \# FeuerschadenBrandgefahr^I$ .

3. Bestimme die Quartile auf Basis des Wertes in *Brandgefah*r:

25%-Quartil: Setze  $\bar{b}^{25}$  auf den Wert *Brandgefah*r des Gebäudes an der Stelle  $\lceil (|G'| * 0,25) \rceil$  in der Liste  $G'$ . Bestimme die Elemente im 25%-Quartil  $G'^{25}$  aus  $G'$ , bei denen  $0 \geq \text{Brandgefahr  $< \bar{b}^{25}$ . Setze *Brandgefah*renklasse = 1 für alle Gebäude in  $G'^{25}$ .$

50%-Quartil: Bestimme die Gebäude analog zum 25%-Quartil und setze *Brandgefah*renklasse = 2 für alle Gebäude in  $G'^{50}$ .

75%-Quartil: Bestimme die Gebäude analog zum 25%-Quartil und setze *Brandgefah*renklasse = 3 für alle Gebäude in  $G'^{75}$ .

100% Quartil: Bestimme Elemente im 100%-Quartil  $G'^{100}$  als die Gebäude in  $G'$ , bei denen  $\bar{b}^{75} \geq \text{Brandgefahr. Setze *Brandgefah*renklasse = 4 für alle Gebäude in  $G'^{100}$ .$

4. Setze  $E.Umw.Geb.\$OID^T\$ \#FeuerschadenBrandgefah$ renklasse<sup>I</sup> = *Brandgefah*renklasse.

Die Zuordnung zu einer Brandgefahrenklasse ist abhängig von der Gesamtzahl der gefährdeten Gebäude. Sie verändert sich im Einsatzverlauf, wenn durch neue Meldungen aus dem Einsatzgebiet die Lage neu bewertet wird. Ist die Anzahl der gefährdeten Gebäude gering, ist eine Einteilung in vier Klassen nicht sinnvoll. Bei der Darstellung auf der Benutzungsoberfläche werden daher bei drei oder weniger Gebäuden pro Quartil die *Brandgefah*renklassen 1 und 2 sowie die Klassen 3 und 4 zusammengefasst. Der Wert  $E.Umw.Geb.\$OID^T\$ \#FeuerschadenBrandgefah$ renklasse<sup>I</sup> kann dazu genutzt werden, die Priorität zu bestimmen, mit der Gebäude auf Brandherde hin untersucht werden. Gebäude mit dem Wert 1 besitzen dabei die höchste, die mit 4 die geringste Priorität. Eine Schadenssimulation des Erdbebens als Eingangsparameter der Gefahrenabschätzung ermöglicht eine Prognose der Anzahl brennender Gebäude und des Ausmaßes der Brände.

Um den Anwender möglichst umfänglich zu informieren, sind reale und prognostizierte Fakten in der Darstellung kombiniert. Eine nach *Brandgefah*renklassen geordnete Liste zeigt die gefährdeten Gebäude im Einsatzgebiet. Zusätzlich zur Anzahl der Gebäude pro Klasse wird auch der prozentuale Anteil der bereits erkundeten angezeigt, um eine Einschätzung noch nicht bekannter Brände zu ermöglichen. Dabei gilt eine spezielle Regel für Gebäude mit einer *Brandgefah*r<sup>I</sup>  $\geq 64$ . Sie werden in den ersten 24 Stunden nach Einsatzbeginn als potenziell gefährdet eingestuft, selbst wenn sie bereits untersucht worden sind. Dies trägt empirischen Studien Rechnung, denen zufolge 20 % aller Brände in der ersten Stunde, 50 % nach sechs und die restlichen erst 24 Stunden nach dem Beben ausbrechen [Sca09].

## 6.4. Informationsmanagement

Die Gestaltung der Benutzungsoberfläche des DMT orientiert sich an der Ideen eines Management Information System (MIS). Diese haben ihren Ursprung in der Softwareunterstützung des Managements von Unternehmen (siehe dazu

Unterabschnitt 4.3.1). Hierbei ist das MIS ein System, das Daten filtert, organisiert und auswählt, um sie einem Entscheider zu präsentieren. Als Datenquellen dienen Abfragen und Überwachungen der Umwelt sowie die Erfassung von Transaktionen und Operationen des Unternehmens [Sch82, SR15]. Ersetzt man die Führung des Unternehmens durch das Management eines Katastropheneinsatzes und den Manager durch die Entscheider in der Einsatzleitung, lassen sich die dort gewonnenen Erkenntnisse auch auf das Katastrophenmanagement übertragen. Wie in Unterabschnitt 2.1.3 dargestellt, ist das Sammeln der relevanten verfügbaren Informationen die Grundlage jedes Führungsvorgangs. Daraus ergibt sich die Anforderung der Verfügbarkeit von Informationen in einem angemessenen Umfang und Detailgrad zum richtigen Zeitpunkt [vOZF06, SR15]. Unnötige Informationen sollen den Entscheider nicht von den relevanten Fakten ablenken; trotzdem muss er vollumfänglich informiert sein, um fundierte Entscheidungen treffen zu können. Die im Weiteren dargestellte Lösung umfasst die Sammlung, Darstellung und Aufbereitung der verfügbaren Informationen. Der letzte Punkt stellt gleichzeitig den Übergang zur aktiven bzw. kollaborativen Entscheidungsunterstützung dar.

### **6.4.1. Informationsaustausch**

Wie bereits erwähnt erfolgt auf Stabebene der Informationsaustausch durch Meldungen. Klassische Übertragungsmedien sind handschriftliche Texte, Fax und Sprache. Immer verbreiteter wird der elektronische Nachrichtenaustausch. Aufgrund fehlender Standards bilden sich dabei allerdings oft Inseln. Typische Beispiele für handschriftliche Texte sind formale Meldezettel wie der deutsche Vierfach-Vordruck (vgl. Unterabschnitt 2.1.2). Sprachliche Informationsübermittlung erfolgt z. B. in Form von Telefongesprächen oder bei der Lagebesprechung, wobei die Dokumentationspflicht zu beachten ist, welche bei allen dem Autor bekannten Zivilschutzorganisationen besteht. In Deutschland wird in einem sogenannten Einsatztagebuch dokumentiert, wie und warum es zu bestimmten Entscheidungen kam, um den Verlauf eines Einsatzes im Nachhinein nachvollziehen zu können. Während handschriftliche Meldungen und Notizen an sich schon eine Dokumentation darstellen, sind relevante sprachliche Äußerungen daher zu transkribieren. Während einer Lagebesprechung erledigt dies eine vorgegebene Position im Stab, der Protokollant (in Deutschland die Position des S2).

#### **6.4.1.1. Informationsmedien**

Sprachlich und handschriftlich festgehaltene Informationen stellen in einem computerbasierten System wie dem DMT Medienbrüche dar, durch die die übermittelten Informationen nicht direkt im System zur Verfügung stehen. Andererseits birgt die elektronische Übermittlung auch eine Gefahr für den Entscheidungsprozess der Einsatzleitung, da sie dazu führen kann, dass die weiterhin notwendige und zum Teil effektivere verbale Kommunikation vernachlässigt wird (vgl. Unterabschnitt 4.2.1).

Anwender werden möglicherweise dazu verführt, „mit dem System zu spielen“, indem sie sich in dessen Funktionen und Möglichkeiten verlieren. Eine Strukturierung der Eingabemaske, die den sinnvollen Nachrichtenaustausch fördert und den Einsatz reiner Freitext-Nachrichten minimiert, unterstützt eine zielgerichtete Kommunikation. Dies schließt natürlich nicht den Einsatz von Freitext für die interne Diskussion im Stab aus. Dazu sollte aber weiterhin auch verbale Kommunikation genutzt werden. Die elektronischen Meldungen dienen in diesem Fall der schriftlichen Dokumentation und der Ausführung von Handlungen als Folge der verbalen Diskussionen. Die Gefahr eines „Rückzugs hinter dem Monitor“ kann durch eine entsprechende Hardwareinstallation gemindert werden. Ist eine große Projektion der Lagekarte verfügbar, sind Laptops oder kleine Bildschirme für den Einzelnen ausreichend. Hinter kleine Displays ist ein Zurückziehen schwierig. Noch besser dafür geeignet sind flach auf dem Tisch liegende Displays, wie z. B. Tablets. Neben diesen aktiven Maßnahmen stellt eine Vertrautheit mit dem System und seine Integration in die alltäglichen Arbeitsprozesse eine effektive Nutzung während eines Kriseneinsatzes am besten sicher. Um dies zu erreichen, muss das System flexibel genug konfigurierbar sein, um auch im täglichen Betrieb einsetzbar zu sein.

### 6.4.1.2. Nachrichtenverteilung

Das DMT enthält ein elektronisches Meldesystem, welches das DMT-Message-Format zur Nachrichtenübertragung nutzt (siehe Unterabschnitt 5.2.1). Die Oberfläche zur Eingabe und Darstellung der Nachrichten orientiert sich am Vierfach-Vordruck aus dem deutschen Zivilschutz. Ein entsprechendes Beispiel der Darstellung findet sich in Abbildung 6.3. Die Orientierung an etablierten Papiervorlagen soll Anwendern den Ein- und Umstieg in das elektronische System erleichtern. Die Tester bei Systemvorführungen an der AKNZ konnten bestätigen, dass dies durchaus gelungen ist (siehe Abschnitt 10.2). Außerdem ist ein reibungsloser Wechsel zurück auf die Papierform möglich, falls während des Katastropheneinsatzes das computerbasierte System ausfallen sollte.

Das elektronische Nachrichtensystem ist mit E-Mails vergleichbar und geht auf die Arbeit von Werder [Wer07] zurück. Im Gegensatz zu klassischen E-Mails erfolgt die Verteilung der Nachrichten nicht nur an explizit angegebene Empfänger. Weitere Adressaten werden vom System je nach Sender und dem Typ der Meldung selbstständig ausgewählt. Dies ermöglicht eine an die Organisationsstruktur angepasste Informationsverteilung, welche deutlich flexibler ist als die Verteilung der Durchschläge eines Vierfach-Vordruckes. Bei einer Einsatzleitung in Deutschland zum Beispiel sind Meldungen bezüglich des Status einer Ressource von Interesse für (1) den für sie fachlich Verantwortlichen, (2) das für Logistik zuständige Sachgebiet Einsatz (S3) und (3) das Sachgebiet Lage (S2). Entsprechend werden alle Statusmeldungen von Ressourcen an den S3 und den S2 sowie den für sie fachlich Verantwortlichen zugestellt. Die Verteilungslogik von Meldungen wird anhand von Definitionen im rollenbasierten Berechtigungsmanagement des MIS konfiguriert.

Beim Starten des MIS muss sich jeder Anwender mit Benutzernamen und Passwort authentifizieren. An den Nutzernamen gekoppelt sind Rollen, denen wiederum Berechtigungen zugewiesen sind. Das rollenbasierten Berechtigungsmanagement legt fest, welche Ressourcen einem Anwender unterstellt sind, also ob und an wen er Befehle versenden darf sowie von wem und welche Arten von Nachrichten er erhält. Die in der Rolle vorgegebenen Berechtigungen für die Befehlsgebung an Ressourcen entsprechen denen des ADVISOR-Agenten des jeweiligen Anwenders. Für den Anwender stellt sich dies so dar, dass nicht alle Arten von Nachrichten versendet werden können und beim Versenden von Befehlsnachrichten nur Empfänger wählbar sind, die dem Anwender gemäß seiner Rolle unterstellt sind. Beim Verschicken von Nachrichten können neben expliziten Personen auch Rollen gewählt werden. Das Versenden an Rollen nutzt die Möglichkeiten der im MIS genutzten Messaging-Middleware Java Message Service (JMS) (siehe Unterabschnitt 9.1.5), Nachrichten an Kanäle (Channels) zu verschicken. Meldungen auf einem Kanal werden nur von Instanzen empfangen, die diesen Kanal abonniert (subscribed) haben. Die abonnierten Kanäle wiederum sind von der Rolle des Anwenders abhängig. Die entsprechende Konfiguration lässt sich leicht verändern.

Das Konzept der gezielten Informationsverteilung bietet den Vorteil, jedem Anwender nur die Informationen zur präsentieren, die für die Erfüllung seiner Aufgaben relevant sind. Gegenüber einer manuellen Verteilung vermeidet dies die Überfrachtung mit unnötigen Informationen und vor allem das versehentliche Vergessen von relevanten Empfängern. Gerade im fortgeschrittenen Verlauf eines Einsatzes, wenn die eingehenden Informationen überhandnehmen, entlastet dies Disponenten und Entscheider.

#### **6.4.1.3. Nachrichtenverarbeitung**

Wie bei allen Komponenten des DMT sind die im MIS dargestellten Informationen in dem in Kapitel 5 erläuterten Datenmodell abgelegt. Da das DMT-Message-Format die relevanten Daten in strukturierter Form ablegt, ist eine einfache elektronische Auswertung der Meldungsinhalte möglich (vgl. Unterabschnitt 5.2.1 und Abschnitt 5.4). Änderungen der Lage, die anhand der dafür vorgesehenen Nachrichtentypen gemeldet werden, müssen nicht manuell im System eingetragen werden. Mit dem Nachrichteneingang werden die enthaltenen Informationen automatisch in die Faktenbasis des MIS übernommen und auf der Oberfläche entsprechend aktualisiert. Nur Inhalte, die eine Interaktion mit dem Anwender erfordern, wie z. B. die Risikobeurteilung bei Schadensmeldungen, sind erst nach diesem Schritt verfügbar. Die umfangreiche Automatisierung der Datenverarbeitung entlastet den Anwender bei der Auswertung von Meldungen erheblich. Zusätzlich zu den in Abschnitt 5.4 beschriebenen Auswertungen aggregiert das MIS zusammengehörige Informationen. Gefahrenbereiche erhalten z. B. eine eindeutige Kennung, unter der alle Informationen gesammelt sind und mit der diese in der Oberfläche referenziert werden.

## 6.4.2. Informationsdarstellung und -zugriff

Bei der Gestaltung der Benutzungsoberfläche orientiert sich das MIS an im Einsatz befindlichen Systemen zur Lagedarstellung und -führung, wie sie z. B. im Zivilschutz in Leitstellen genutzt werden (siehe Abschnitt 4.1). Die Anordnung der Komponenten kann angepasst werden. Die folgenden Erläuterungen beziehen sich auf die Standardkonfiguration, wie sie Abbildung 6.1 zeigt. Die dargestellten Informationen basieren auf den aktuellen Meldungen aus dem Einsatzgebiet oder auf einem Simulationsszenario, falls der Nutzer dessen Anzeige gewählt hat. Schadensszenarien lassen sich außerdem parallel zu den realen Informationen als Kartenüberlagerungen darstellen. Wie im Screenshot zu sehen, sind auf dem Hauptschirm des MIS vier Bereiche für Nachrichtenansicht (oben rechts), Kartendarstellung (unten rechts), Übersicht über die Gefahrenbereiche (unten links) sowie Ressourcenübersicht (oben links) angeordnet. Die folgenden Unterabschnitte beschreiben diese Bereiche im Detail.

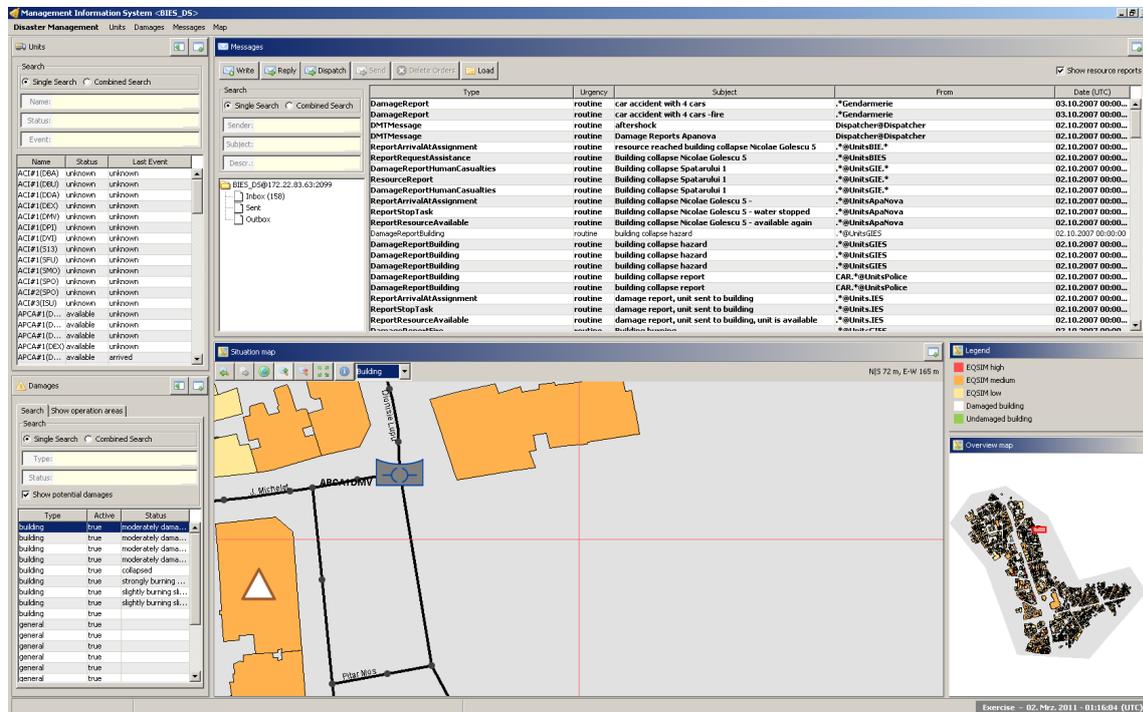


Abbildung 6.1.: Hauptseite des MIS

### 6.4.2.1. Nachrichtendarstellung

Alle empfangenen und gesendeten Nachrichten eines Anwenders sind in der Nachrichtenübersicht (vgl. Abbildung 6.2) in den drei Ordnern mit den Bezeichnungen *Inbox*, *Sent* und *Outbox* einsortiert. Zwischen ihnen kann über die Auswahlbox links unten gewechselt werden. Der Posteingang (*Inbox*) enthält alle bisher empfangenen

Nachrichten, der Ordner Postausgang (*Outbox*) alle noch zu sendenden und *Sent* alle bereits versendeten. Um in der *Inbox* zwischen gelesenen und noch nicht gelesenen Nachrichten zu unterscheiden, ist in der Übersicht die Strichstärke der Einträge noch nicht gelesener Nachrichten fett. Die Übersicht zeigt für die Nachrichten in dem jeweiligen Ordner den Typ (*Type*), die Wichtigkeit (*Urgency*), den Betreff (*Subject*), den Sender (*From*) und den Sendezeitpunkt (*Date (UTC)*) im Format der koordinierte Weltzeit (*Universal Time Coordinated (UTC)*) an. Nach diesen Kriterien lassen sich die Meldungen durch Auswahl in der Kopfzeile auf- oder absteigend sortieren. Gerade in der *Inbox* wächst die Anzahl der Nachrichten schnell an. Daher lassen sich die dargestellten Meldungen nach Sender (*Sender*), Betreff (*Subject*) oder Nachrichteninhalt (*Descr.*) filtern. Die Kriterien können entweder einzeln (*Single Search*) oder gemeinsam (*Combined Search*) genutzt werden. Diese Funktionen gehen auf die Rückmeldungen von Testnutzern des Systems zurück. Sie ermöglichen eine bessere Übersicht bei einem hohen Nachrichtenaufkommen.

Type	Urgency	Subject	From	Date (UTC)
DamageReport	routine	car accident with 4 cars	*Gendarmerie	03.10.2007 00:00...
DamageReport	routine	car accident with 4 cars - fire	*Gendarmerie	03.10.2007 00:00...
DMTMessage	routine	aftershock	Dispatcher@Dispatcher	02.10.2007 00:00...
DMTMessage	routine	Damage Reports Apanova	Dispatcher@Dispatcher	02.10.2007 00:00...
ReportArrivalAssignment	routine	resource reached building collapse Nicolae Gulescu 5	*@UnitsBIE.*	02.10.2007 00:00...
ReportRequestAssistance	routine	Building collapse Nicolae Gulescu 5	*@UnitsBIE.*	02.10.2007 00:00...
DamageReportHumanCasualties	routine	Building collapse Spatarului 1	*@UnitsGIE.*	02.10.2007 00:00...
ResourceReport	routine	Building collapse Spatarului 1	*@UnitsGIE.*	02.10.2007 00:00...
DamageReportHumanCasualties	routine	Building collapse Spatarului 1	*@UnitsGIE.*	02.10.2007 00:00...
ReportArrivalAssignment	routine	Building collapse Nicolae Gulescu 5 -	*@UnitsApanova	02.10.2007 00:00...
ReportStopTask	routine	Building collapse Nicolae Gulescu 5 - water stopped	*@UnitsApanova	02.10.2007 00:00...
ReportResourceAvailable	routine	Building collapse Nicolae Gulescu 5 - available again	*@UnitsApanova	02.10.2007 00:00...
DamageReportBuilding	routine	building collapse hazard	*@UnitsGIES	02.10.2007 00:00:00
DamageReportBuilding	routine	building collapse hazard	*@UnitsGIES	02.10.2007 00:00:00
DamageReportBuilding	routine	building collapse hazard	*@UnitsGIES	02.10.2007 00:00:00
DamageReportBuilding	routine	building collapse report	CAR.*@UnitsPolice	02.10.2007 00:00:00
DamageReportBuilding	routine	building collapse report	CAR.*@UnitsPolice	02.10.2007 00:00:00
ReportArrivalAssignment	routine	damage report, unit sent to building	*@Units.IES	02.10.2007 00:00:00
ReportStopTask	routine	damage report, unit sent to building	*@Units.IES	02.10.2007 00:00:00
ReportResourceAvailable	routine	damage report, unit sent to building, unit is available	*@Units.IES	02.10.2007 00:00:00

Abbildung 6.2.: Nachrichtenübersicht

Die Auswahl einer Nachricht mit einem Doppelklick öffnet ihre Detailansicht. Jeder Nachrichtentyp hat ein eigens an die Inhalte angepasstes Anzeigefenster. Abbildung 6.3 zeigt die Ansicht für den allgemeinen Nachrichtentyp. Enthalten sind die typischen Elemente, wie sie auch bei E-Mails benutzt werden: ein Versanddatum (*Date*), ein Betreff (*Subject*), einen Versender (*Sender*) und ein Empfängerkreis (*Receivers*) sowie die Beschreibung in Freitext (*Description*). Weitere Elemente sind spezifische Erweiterungen für den Anwendungsfall des Katastrophenschutzes. Wie beim Meldewesen in einer Einsatzleitung üb-

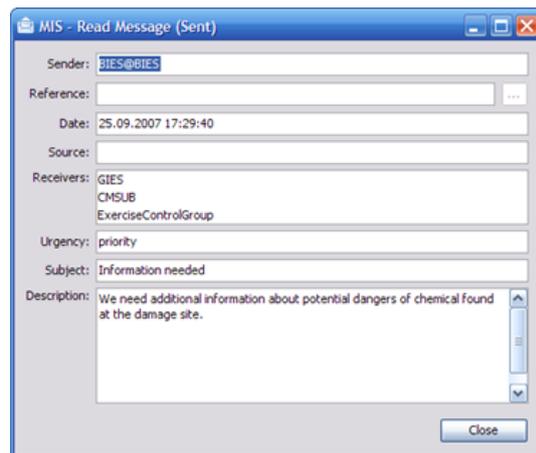


Abbildung 6.3.: Dialog „Nachricht lesen“

lich, kann eine Dringlichkeit (*Urgency*) der Nachricht zugeordnet werden. Falls eine Nachricht von einer anderen Instanz weitergeleitet oder von einer externen Quelle übernommen wurde, ist es möglich, Angaben zu dieser Quelle (*Source*) zu übergeben. Ein typischer Anwendungsfall dafür sind Meldungen, die zunächst bei einem Disponenten eingehen und von diesem an die Stellen in der Einsatzleitung weitergegeben werden, für die die enthaltenen Informationen relevant sind. Wird eine Nachricht als Reaktion auf eine vorangegangene verschickt ist diese referenziert (*Reference*), damit der Verlauf einer Kommunikation nachvollzogen werden kann. Beispielsweise referenziert die Bestätigung eines Befehls selbigen. Die Darstellungen spezieller Nachrichten wie Schadensmeldungen oder Befehlen enthalten weitere Felder, wie z. B. die Zuordnung zu einer Einsatzstelle bei einem Einsatzbefehl (siehe Abbildung 6.4 *Compose Order*). Das Ausfüllen dieser zusätzlichen Felder erleichtert das MIS seinen Nutzern durch Assistenzfunktionen. ADVISOR-Agenten können Befehle sogar selbstständig für den Anwender erstellen (siehe Abschnitt 8.3). Die Strukturierung der Meldungen nach einem vorgegebenen Thema reduziert den Freitextinhalt auf ein Minimum. Dies ermöglicht den computergestützten Assistenzfunktionen die automatisierte Auswertung der Inhalte und stellt eine einheitliche sowie vollständige Beschreibung aller nötigen Informationen sicher.

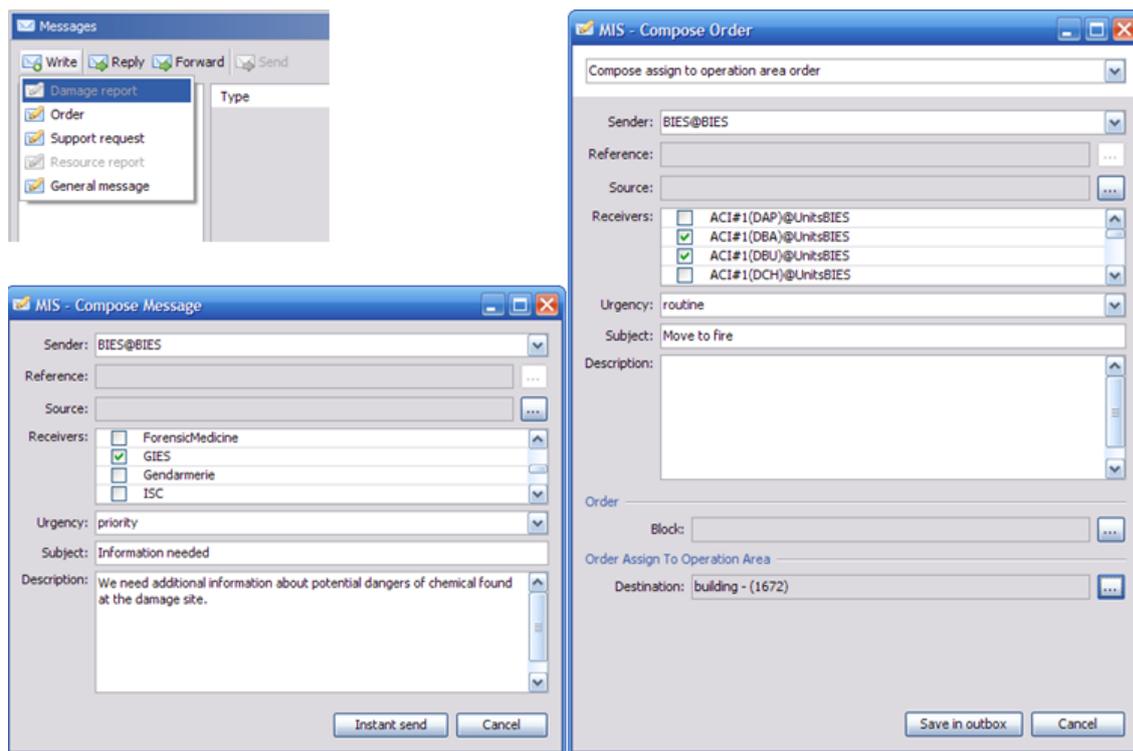


Abbildung 6.4.: Dialog „Nachricht erstellen“

Zum Versand einer neuen Nachricht, auch für die Antwort auf eine erhaltene, ist zunächst ihr Typ auszuwählen. Welche Nachrichtentypen ein Nutzer versenden kann

ist von seiner Rolle abhängig. Eine einfache Nachricht (*General Message*) enthält die in Abbildung 6.4 (*Compose Message*) dargestellten Elemente, welche bereits zuvor erläutert wurden. Wie in *Compose Order* zu sehen, passt sich auch beim Erzeugen der Nachricht die Darstellung dem Typ an. Die Liste der Empfänger wird in der Messaging-Middleware des MIS verwaltet und kann beliebig konfiguriert werden. Ein Anwender kann nur an Ressourcen Befehle verschicken, die ihm laut seiner Rolle unterstellt sind. Über den im Feld *Destination* hervorgehobenen Button ist eine vereinfachte Auswahl eines Ortes im Einsatzgebiet möglich, in diesem Fall des Ziels, zu dem die Einheit befehligt wird. Im folgenden Auswahldialog stehen die bekannten Gefahrenstellen zu Wahl oder es kann auf die Kartendarstellung gewechselt werden, um frei ein Ziel zu bestimmen.

#### 6.4.2.2. Umweltobjekte als Gefahrenbereiche und in der Detailansicht

Wie Meldungen werden auch die bekannten Gefahrenbereiche in Form einer Auflistung dargestellt (siehe Abbildung 6.5). Beim Überfahren mit der Maus zeigt ein Tooltip über dem jeweiligen Eintrag die durch das System vergebene eindeutige Kennung des Bereiches an. Weitere Informationen sind in den Spalten enthalten. In *Type* wird die Art des betroffenen Umweltobjektes beschrieben. Die mit *Active* überschriebene Spalte zeigt an, ob ein Bereich bereits vom Anwender bearbeitet wurde (*Active = false*). Die Spalte *Status* enthält den Inhalt der aktuell glaubwürdigsten Schadensmeldung. Ein Umweltobjekt kann aufgrund unterschiedlicher Schadensarten mehrfach in der Liste auftauchen. Ähnlich wie bei der Nachrichtenansicht ist ein Filtern des Listeninhaltes nach *Type* oder *Status* sowie nach beiden Kriterien zusammen möglich. Durch einen Doppelklick auf einen Gefahrenbereich wird dieser angewählt und eine Detailansicht geöffnet, die abhängig von dem Ort und der Art der Gefahr unterschiedliche Elemente enthält.

Neben dem Reiter *Search* ist eine mit *Show operation areas* beschriftete Lasche zu sehen. Bei ihrer Auswahl wird in den in Kapitel 7 und Kapitel 8 beschriebenen ak-

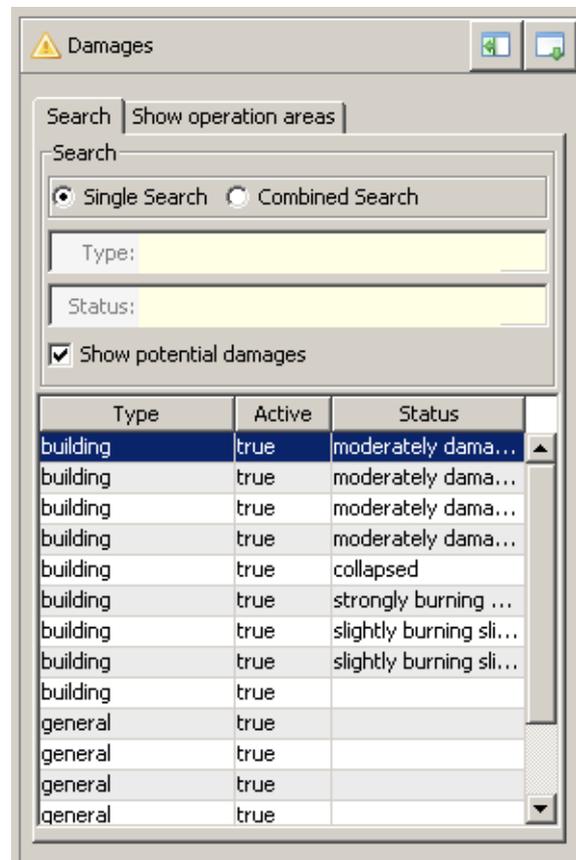


Abbildung 6.5.: Dialog „Übersicht Gefahrenbereiche“

tiven Entscheidungsunterstützungsprozess gewechselt. Die unaufdringliche Integration soll bewusst diese Funktionen nicht von den anderen Elementen der Oberfläche abheben, sondern als Ergänzung in den normalen Arbeitsprozess des Anwenders innerhalb der Benutzungsoberfläche integrieren.

Die Detailansicht eines Gefahrenbereiches soll am Beispiel eines Gebäudes erläutert werden. Wie in Abbildung 6.6 zu sehen, gliedert sich die Darstellung in drei Teilfenster. Links oben werden die aktuell dem Objekt zugeordneten Ressourcen mit ihrem Namen, ihrem aktuellen Status und dem Typ ihrer zuletzt eingegangenen Meldung angezeigt. Die bekannten Schadensmeldungen zu dem Objekt zeigt das Teilfenster unten rechts. Die Spalten entsprechen denen der Anzeige der Gefahrenbereiche auf dem Hauptbildschirm. Das dritte Teilfenster zeigt die bekannten Attribute des Umweltobjektes mit einer Beschreibung und ihren Werten. Das Fenster wird über dem Hauptschirm des MIS als nicht modaler Dialog geöffnet. Über den Knopf *Center area in map* kann die Kartenansicht auf der Position des Umweltobjektes zentriert werden. Ist ein ADVISOR-Agent für den Anwender aktiv, wird die Ansicht des Gefahrenbereiches ergänzt durch eine Bewertung der Risiken in Form einer Risikomatrix (siehe Abschnitt 6.5 für Details).

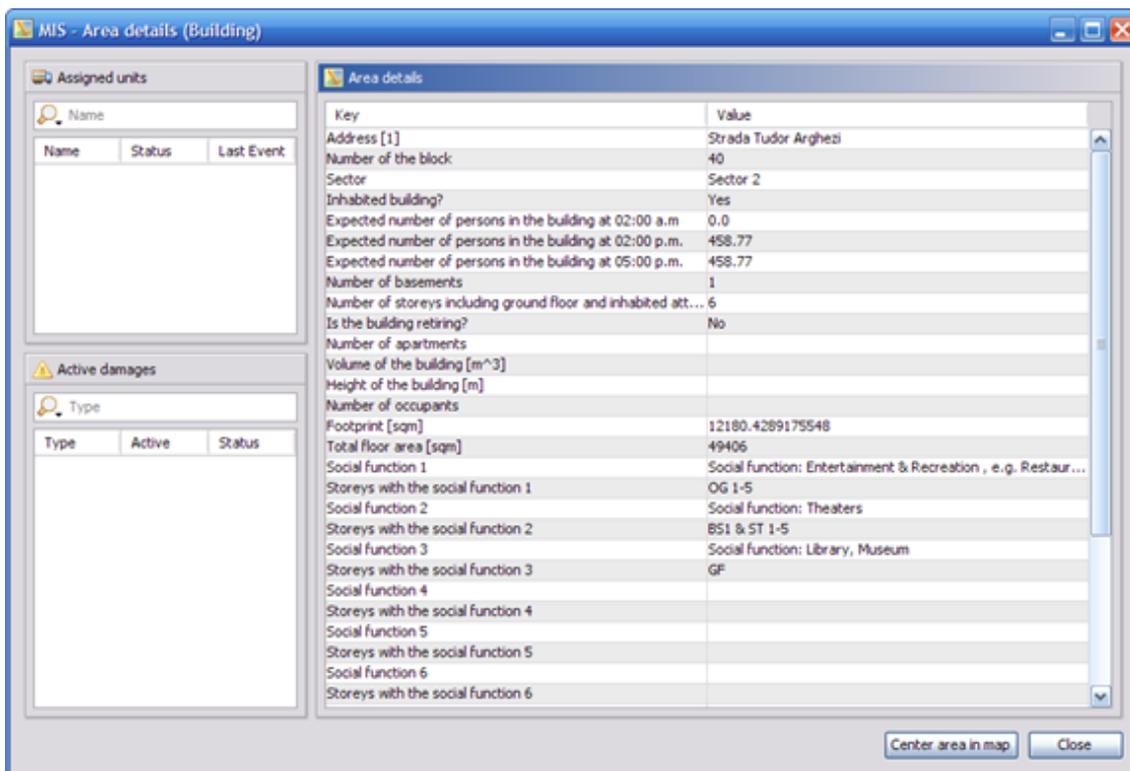


Abbildung 6.6.: Detailansicht Gefahrenbereich

### 6.4.2.3. Ressourcenübersicht

Die Ressourcenübersicht auf der Hauptseite stellt den Status aller Einheiten dar, für die der gerade angemeldete Anwender zuständig ist (siehe Abbildung 6.7). Die Relevanz ergibt sich nicht nur aus der Weisungsbefugnis seiner Rolle gegenüber der Ressource. Zum Beispiel werden logistischen Positionen in der Einsatzleitung, die für die Versorgung aller der Einheiten verantwortlich sind, auch alle Ressourcen angezeigt. Die Liste enthält den Namen der Ressource in Kurzform (*Name*), ihre Verfügbarkeit (*Status*) sowie das letzte von ihr gemeldete Ereignis (*Event*). Wie die Listen in den anderen Teilfenstern auch lässt sich die Ressourcenübersicht anhand der Inhalte in den Spalten einzeln oder in beliebiger Kombination filtern. Dies ermöglicht eine schnelle Übersicht über die verfügbaren Einheiten. Wie bei den Gefahrenbereichen kann durch den Doppelklick auf eine Zeile die Detailansicht geöffnet werden.

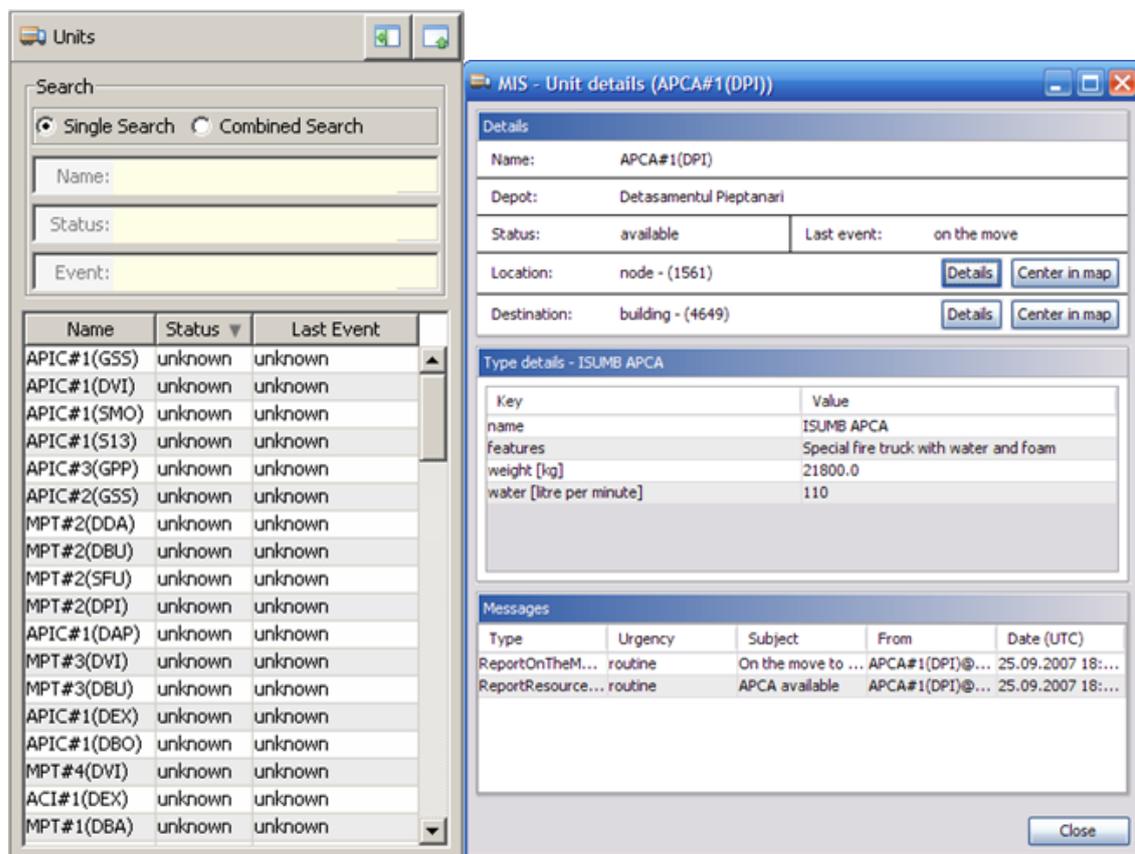


Abbildung 6.7.: Ressourcenübersicht (links) und Detailansicht Ressource (rechts)

Die Detailinformationen (siehe Abbildung 6.7) enthalten bei allen Einheiten den Namen und das Depot, in dem die Ressource stationiert ist. Außerdem werden der aktuelle Status (*Status*), das zuletzt gemeldete Ereignis (*Last event*) sowie die aktuell bekannte Position (*Location*) und ggf. die Zielposition (*Destination*) angezeigt.

Weitere spezifische Attribute und Fähigkeiten der Ressource sind in Tabellen aus Bezeichner und dem beschreibenden Wert aufgelistet (*Type details*). Details zu den Positionsinformationen können in der gleichen Form wie bei Umweltobjekten geöffnet werden. Auch ist es möglich, die Kartenansicht auf die gewählte Position zu zentrieren. Im untersten Teilfenster sind alle Nachrichten aufgeführt, die die Einheit bisher verschickt hat.

### 6.4.2.4. Kartendarstellung

Die Kartendarstellung zeigt die aktuellen Informationen zur Lage in einem *Geographischen Informationssystem (GIS)*. Anhand im Zivilschutz üblicher taktischer Zeichen wird die Position von Gefahrenbereichen und Ressourcen auf einer elektronischen Landkarte angezeigt (siehe Abbildung 6.8).

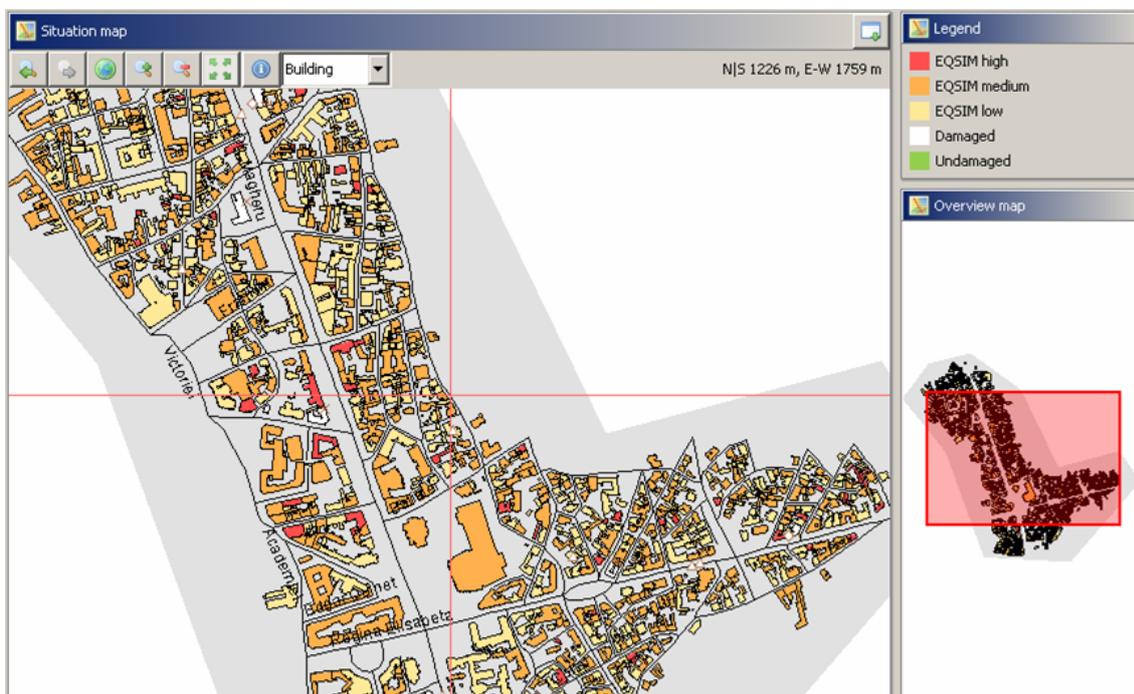


Abbildung 6.8.: Kartendarstellung

Wie bei GIS-Systemen üblich sind die verschiedenen Informationen in sich jeweils überlagernden Ebenen, sogenannten Layern, enthalten. Im MIS existieren u. a. Layer für Gebäude, Straßennetz, Gefahrenbereiche und Einsatzkräfte, die zur Darstellung optisch übereinander gelegt werden. Es jederzeit möglich, nicht relevante Ebenen auszublenden und nur die für aktuelle Entscheidungen notwendigen Informationen anzuzeigen. In die Karte können neben der realen Lage auch Daten aus Szenarien und Prognosen eingeblendet werden (vgl. Unterabschnitt 6.2.4). So ist es z. B. möglich, die Schadensprognosen eines Szenarios als eigene Ebene zusätzlich zu den realen

Informationen einzublenden, die Umweltobjekte gemäß ihrer Risiken eingefärbt. Im Fall eines vollständigen Wechsels in ein Szenario überlagert dessen Darstellung alle realen Daten.

In die Kartendarstellung kann beliebig hinein- und hinausgezoomt werden. Straßenabschnitte und Kreuzungen sowie Gebäude lassen sich auswählen, um Detailinformationen abzufragen. Außerdem können sie während der Erstellung von Nachrichten zur leichteren Ortsangabe auf der Karte markiert werden. Auch in der Darstellung der Kartenansicht kommt das rollenbasierte Berechtigungsmanagement zum Tragen. Die Kartenansicht eines Anwenders zeigt nur die Ressourcen, die für ihn relevant sind, also solche, für die er zumindest Statusmeldungen erhält. Eine spezielle Rolle für die Kartendarstellung der Gesamtlage ersetzt die analoge Übersichtskarte. Bei ihr ist die Nachrichtenansicht ausgeblendet und es werden alle Ressourcen und Schäden angezeigt. Auf einem Großbildschirm oder als Projektion steht sie der gesamten Einsatzleitung zur Verfügung. Da die Ansicht annähernd selbstständig vom System erstellt wird, entlastet dies die mit der Lagedarstellung betraute Person, wie z. B. den S2 im deutschen Zivilschutz.

## 6.5. Risikobewertung

The screenshot shows a software interface titled "MIS - Area details (Building)". It contains several panels:

- Assigned units:** A search box for "Name" and a table with columns "Name", "Status", and "Last Event".
- Area details:** A table with "Key" and "Value" columns.
 

Key	Value
Inhabited building?	Yes
Expected number of persons in the building at 02:00 a.m. (estimation)	292,6
Expected number of persons in the building at 02:00 p.m. (estimation)	443
Expected number of persons in the building at 05:00 p.m. (estimation)	456,9
Number of basements	1
- Active damages:** A search box for "Type" and a table with columns "Type", "Active", and "Status".
- Area risks:** A risk matrix table.
 

Danger for	Fire	Chemistry	Radiation	Electricity	Angst	Explosion	Fire Prop.	Resp. Toxins	Toxin Prop.	Collapse	Injury
Persons	high	none	none	none	none	none	low	none	none	none	med
Personnel	low	none	none	none	none	none	none	none	none	none	low
Environment	med	none	none	none	none	none	low	none	none	none	low
Equipment	none	none	none	none	none	none	none	none	none	none	low
Animals	low	none	none	none	none	none	low	none	none	none	low
Assets	med	none	none	none	none	none	med	none	none	none	low

Buttons at the bottom include "Save changes to risk evaluation matrix", "Discard changes", "Center area in map", and "Close".

Abbildung 6.9.: Risikomatrix im DMT

Für die Entscheidung ob, wie viele und welche Ressourcen zu einem Umweltobjekt beordert werden, sind die dort vorliegenden Risiken von entscheidender Bedeutung. Die entsprechende Bewertung muss der Entscheidungsträger anhand aller verfügbaren Informationsquellen ständig aktuell halten. Im Rahmen einer Großschadenslage ist es so gut wie unmöglich die Übersicht über alle Schäden zu bewahren. Die Zahl der Gefahrenbereiche ist umfangreich und das Lagebild ändert sich aufgrund neuer Nachrichten kontinuierlich. Dies macht es den Entscheidungsträgern sehr schwer alle

relevanten Informationen präsent zu halten. Statt einer Dokumentation in Papierform, wie in der klassischen Katastrophenbewältigung, bietet das DMT eine elektronische Hilfestellung. Wichtig bei deren Design war die Darstellung der Information in einer für den Nutzer möglichst intuitiv verständlichen Form.

Eine im Zivilschutz verbreitete Repräsentationsform für Risiken an Einsatzorten ist die Risikomatrix (vgl. [Kno00]). Sie dient einem Einsatzleiter bei der Strukturierung der vorliegenden Gefahren. Dargestellt wird sie als Tabelle, in der horizontal die Gefahrrentypen und vertikal die potenziell von der Gefahr betroffenen Instanzen abgetragen sind. Wie bereits in Unterunterabschnitt 5.3.3.1 erläutert, wird unterschieden zwischen den Gefahrrentypen *Atemgiften (Resp. Toxins)*, *Angstreaktionen/Panik (Angst)*, *Feuerausbreitung (Fire Prop.)*, *atomare Strahlung (Radiation)*, *chemischen Stoffen (Chemistry)*, *Erkrankungen und Verletzungen (Injury/Disease)*, *Explosionen (Explosion)*, *Gebäudeeinstürzen (Collapse)* und *Elektrizität (Electricity)*.<sup>14</sup> Die Einteilung in neun Klassen stellt einen Kompromiss zwischen dem Detailgrad auf der einen sowie der Übersichtlichkeit und leichteren Zuordenbarkeit auf der anderen Seite dar. Bei den von einer Gefahr betroffenen Instanzen wird unterschieden zwischen öffentlichen Gefahren für *Personen (Persons)*, *Tieren (Animals)*, *Umwelt (Environment)* und *Sachwerten (Material Assets)* sowie Gefahren für Einsatzkräfte, also *Mannschaften (Personnel)* und *Gerät (Equipment)*. Aus Sicht von Entscheidungsträgern im Katastrophenschutz stehen öffentliche Gefahren und solche für Einsatzkräfte oft im Konflikt zueinander. Einerseits ist der Schutz von Instanzen wie Personen das Hauptziel, andererseits besteht die Verantwortung für den Selbstschutz der Einsatzkräfte. Die sich ergebende Matrix stellt eine Abschätzung der Gefahren am Einsatzort dar. Diese verändern sich durchaus während eines Einsatzes, falls Gefahrenquellen beseitigt werden oder neue auftreten.

Die Risikomatrix bietet auf der operativ-taktischen Ebene eine übersichtliche Bewertungsform. Wie in Abbildung 6.9 zu sehen ist im MIS ist eine elektronische Variante der Matrix realisiert (vgl. Unterunterabschnitt 5.3.3.1). Gegenüber ihrer Ursprungsform wurde sie um das Risiko der *Schadstoffausbreitung (Toxin Prop.)* ergänzt, um auch bei Giftstoffen zwischen lokal begrenzten Gefahrenbereichen und solchen mit Ausbreitungsrisiko unterscheiden zu können. Das Ausfüllen bzw. Bewerten der Zellen erfolgt durch den Anwender während seiner Auswertung von Schadensmeldungen zu dem jeweiligen Umweltobjekt. Mit dem Öffnen einer neuen Meldung aus der Nachrichtenansicht wird auch die Detailansicht des zugehörigen Umweltobjektes geöffnet, welche auch dessen Risikomatrix enthält (siehe Abbildung 6.6). Somit hat der Nutzer die vorhandene Bewertung im Blick, um sie anhand der neuen Schadensmeldung zu aktualisieren bzw. initial zu auszufüllen. Die Risiken in den entsprechenden Zellen der Matrix werden in die Klassen *gering (low)*, *mittel (medium)* und *hoch (high)* sowie *keine (none)* und *unbekannt (unknown)* eingeordnet. Dabei besteht der Unterschied zwischen keinem und einem unbekanntem Risiko darin, dass mit der Bewertung *keine* ein entsprechendes Risiko in dem Gefahrenbereich ausgeschlossen ist und

---

<sup>14</sup>Die hier gewählte Reihenfolge stellt dabei keine Wertung der Gefährlichkeit dar, sondern dient der leichteren Erlernbarkeit anhand der Kurzform „AAAACEEEEE“.

*unbekannt* die Möglichkeit eines Risikos einräumt. Die Werte der Matrix sind sowohl in der Faktenbasis des Anwenders als auch der seines ADVISOR-Agenten abgelegt. Von dort können sie jederzeit in der Detailansicht des Gefahrenbereiches angezeigt und verändert werden. Zusammen mit den weiteren dort angezeigten Fakten stellen sie eine kompakte Übersicht der verfügbaren Informationen dar.

Neben dem Einsatz der Risikomatrix als passive Erinnerungs- und Strukturierungshilfe unterstützt sie auch bei der kollaborativen Arbeit in der Einsatzleitung. Daten in der Fakten- und Wissensbasis lassen sich in ein XML-Format serialisieren<sup>15</sup> (vgl. Abschnitt 9.4). Durch Nachrichten vom Typ *Dataexchange* des DMT-Message-Formates können diese verschickt und somit Bewertungen ausgetauscht werden. Analog zu einer Meldung kann mit der Funktion *Send* in der Nachrichtenansicht ein Anwender seine Risikobewertungen mit anderen Anwendern teilen. Beim Empfänger werden die Daten in dessen Faktenbasis integriert. Wie die eigenen Bewertungen stehen sie in der Detailansicht des Gefahrenbereiches zur Verfügung, wo mittels einer Auswahlbox zwischen der Darstellung der eigenen Risikomatrix und den fremden Bewertungen gewechselt werden kann. Dieser Austausch ist auch mit den Einsatzleitern vor Ort möglich. Über eine Applikation auf dem Tablet oder Smartphone kann dieser ebenfalls Meldungen und Bewertungen zu seinem Gefahrenbereich austauschen. Ein entsprechender Prototyp wurde im Rahmen des DFG-Projektes „Modellbasiertes Ressourcenmanagement für Hochwasserereignisse und Interoperabilität der beteiligten Komponenten“ umgesetzt.

Die Bewertung der Risiken soll alle verfügbaren Fakten und Merkmale bezüglich eines Umweltobjektes mit einbeziehen. Systemnutzer haben teilweise mehr Informationsquellen zur Verfügung als die sie unterstützenden ADVISOR-Agenten. Freitextmeldungen oder Sprachbotschaften stellen Medien dar, deren Inhalt von einer Maschine schwerer erschlossen werden kann. Dagegen haben die Software-Agenten mit Prognosen und abgeleiteten Fakten Informationsquellen, die dem Menschen nicht direkt zur Verfügung stehen. Für den strukturierten Wissensaustausch zwischen Mensch und Maschine ist die Risikomatrix ein wichtiges Element. Das kollaborative Bewerten durch einen Menschen zusammen mit einem Software-Agenten stellt den Übergang von den passiven zu den aktiven Entscheidungshilfen des folgenden Kapitels dar.

---

<sup>15</sup>Serialisieren bezeichnet die Abbildung der Instanz eines Datenobjektes in ein seriell lesbare Format, mit dem Ziel, es auf einem Datenträger abzulegen oder zu übertragen.

# 7. Methoden der aktiven Entscheidungsunterstützung

In Kapitel 6 wurde die Unterstützung bei der Aufbereitung und Erfassung von Fakten sowie ihrer Darstellung auf der Benutzungsoberfläche des MIS erläutert. Diese passiven Methoden sollen Entscheidern ein möglichst detailliertes Lagebild liefern, aus dem sie die notwendigen Handlungen ableiten können. Die in diesem Kapitel dargestellten aktiven Hilfestellungen liefern dagegen konkrete Vorschläge für Handlungsoptionen. ADVISOR-Agenten für die verschiedenen Gefahrentypen bewerten die verfügbaren Informationen und leiten daraus ein eigenes Bild der Lage ab. Gemäß den Regeln der Wissensbasis werden aus dem Lagebild Entscheidungen abgeleitet, Konsequenzen von Handlungen bewertet und erläuternde Texte erstellt.

## 7.1. Ressourcenbild der Agenten

Unabhängig von der Art der Schäden oder von den verwalteten Ressourcen ergeben sich aus dem Ziel einer optimalen Ressourcenverteilung immer wieder die gleichen Problemstellungen. So ist u. a. zu klären, welche Ressourcen ein Ziel am schnellsten erreichen können und wie viel Ressourcen eines Typs aktuell zur Verfügung stehen. Der folgende Abschnitt enthält eine Sammlung von Regeln und Algorithmen, die von den meisten ADVISOR-Agenten genutzt werden.

### 7.1.1. Ermittlung der kürzesten Route

Ein häufiges Problem ist die Ermittlung der kürzesten befahrbaren Verbindung zwischen zwei Straßenknoten und der dabei zurückgelegten Distanz. Auf dieser Grundlage wird u. a. bestimmt, welche Ressourcen am schnellsten eine Einsatzstelle erreichen können. Zur Berechnung kommt ein abgewandelter Dijkstra-Algorithmus zum Einsatz [Dij59], der Terme und Regeln der Fakten- und Wissensbasis nutzt.

Wie in Abschnitt 5.5.3.2 beschrieben, sind die Informationen zum Straßennetz in den Termen  $F \setminus A.Umw.StrKno \setminus StrKan.OID^T$  abgelegt. Im Detail sieht das Modell wie folgt aus:

- Jeder Straßenknoten  $A.Umf.w.StrKno.OID^T$  hat eine  $OID^T$  als eindeutigen Bezeichner. Seine Attribute sind die Position als Koordinaten

$X$ Koordinate,  $Y$ Koordinate und  $Z$ Koordinate sowie der Term *ZugangZu* welcher die *OID* eines Gebäudes enthält, falls der Knoten einen Zugang zu ihm darstellt.

- Die Informationen zu Kanten des Straßennetzes befinden sich in den Termen  $A \setminus F.Umw.StrKan.OID^T \# \star$ . Attribute sind die *OID* der Knoten *VonKnoten* und *NachKnoten*, welche von der Kante verbunden werden, sowie die *Länge*, *Breite* und *Höhe* der Verbindung in Metern. Weitere Informationen sind das zulässige *Gewicht*, die *Art*<sup>1</sup> der Konstruktion und ob es sich um eine *Einbahnstraße* handelt.

Die Fakten zu einer Kante bilden ihren aktuell bekannten Zustand ab. Sie enthalten Daten zum *Schadenszustand* (blockiert oder frei) und die Information, ob sie bereits *erkundet* wurde. Für jeden Agenten lässt sich in den Termen  $F.Umw.Str.MeideKante.AID^T \# \# OID^T \# B$  individuell festlegen, welche Kanten gemieden werden sollen. Die Liste der zu meidenden Kanten kann aufgrund des Schadensereignisses vorgegeben sein sowie auf Erfahrungen beruhen. Nach einem Erdbeben stellen z. B. Tunnel, Brücken und Hochstraßen ein erhöhtes Risiko dar, weshalb sie gemieden werden sollten.

Über die Informationen der Fakten- und Wissensbasis hinaus sind im Applikationsspeicher vorberechnete Daten abgelegt, welche die Routenberechnung verkürzen. So repräsentiert *LKnet* eine Liste der Knoten, die keinen Eingang zu einem Gebäude darstellen. Weiterhin wird für jeden Knoten die Liste der Kanten  $A.Umw.StrKno.OID^T \$.Kan$  bestimmt, welche von ihm ausgehen oder in ihn münden. Das Attribut *Einbahnstraße* wird nicht berücksichtigt, da anzunehmen ist, dass entsprechende Verkehrsregeln im Katastrophenfall ignoriert werden.<sup>2</sup> Basierend auf diesen Daten erfolgt die Routenberechnung wie in Algorithmus 7.1 dargestellt.

---

### Algorithmus 7.1 Routenberechnung im DMT

---

**Eingabe:** Die Objekt-Ids des Startknoten  $S$  und des Zielknotens  $G$  sowie die Ressourcenklasse  $C$  der betrachteten Einheit.

**Ergebnis:** Liste mit der Objekt-Id der Knoten der kürzesten Route  $R$  zwischen  $S$  und  $G$  sowie der Distanz dieser Route  $D$  in km.

#### Vorbereitung - Initialisiere Knotenliste

1. Erzeuge eine Liste aller noch nicht besuchten Straßenknoten  $LK$  und eine Schlüssel-Wert-Liste<sup>3</sup>  $LKn$  zum ablegen der Berechnungsergebnisse. Schlüssel von  $LKn$  ist jeweils die Knotenbezeichnung  $OID^T$ , Wert ist eine weitere Schlüssel-Wert-Liste mit den Schlüsseln *Vorgänger*, *Weg*, *Entfernung* und *Hinweis*. Der initiale Wert für *Vorgänger* und *Hinweis*

<sup>1</sup>Unterschieden wird zwischen Straße, Brücke, Tunnel und Hochstraße.

<sup>2</sup>Um Einbahnstraßen zu berücksichtigen, ist nur eine kleine Änderung in der Regel  $R.Umw.Straßen\#Kantenberechnung^R\{OID^T, AID^T, RID^T, CLASS^T\}^{L(\star)}$  nötig.

<sup>3</sup>Mit Schlüssel-Wert-Liste wird im weiteren eine Liste aus Schlüssel-Wert-Paaren bezeichnet. Schlüssel-Wert-Paare wiederum sind Tuple aus einem Schlüssel und einem zugehörigen Wert.

ist leer, der für *Weg* und *Entfernung* ist unendlich. Sind *S* oder *G* keine Knoten des Straßennetzes, füge sie *LK* und *LKn* hinzu.

2. Entferne *S* aus *LK*. Setze den aktuell in Bearbeitung befindlichen Knoten *AK* auf *S*.

### Berechnung

Für alle Knoten in *LK*: Berechne die kürzeste Route *R* zwischen *S* oder *G* nach Dijkstra und speichere die Zwischenergebnisse jeweils in *LKn*. Bei der Berechnung jeder Kante:

- Bestimme die gewichtete Kantenlänge  $W = R.Umw.StrabeKantenberechnung^R\{E, ZK\}\#Weg$ , die im Algorithmus die angenommene Distanz darstellt und
- die reale Entfernung  $D = R.Umw.StrabeKantenberechnung^R\{E, ZK\}\#Entfernung$ .
- Falls vorhanden, setze Hinweise  $H = R.Umw.StrabeKantenberechnung^R\{E, ZK\}\#Hinweis$ .

Nach dem Abschluss bestimme die reale Distanz *R* der Route, indem alle Werte *D* der Knoten in *R* aufsummiert werden. Sollte keine Route existieren, setze  $R = \{\}$  und  $D = \infty$ .

Entscheidend für das Ergebnis der Routenberechnung ist die Länge jeder Kante, welche mit der Regel  $R.Umw.Straben\#Kantenberechnung^R\{OID^T, AID^T, RID^T, CLASS^T\}^{L(*)}$  bestimmt wird (siehe Unterabschnitt A.6.4). Zu unterscheiden ist zwischen *Weg* und *Entfernung*. Die *Entfernung* ist die metrische Distanz zwischen den beiden Knoten einer Kante. Der *Weg* ist die *Entfernung*, multipliziert mit gewichteten Malus. Er wird bei der Routenberechnung berücksichtigt. Sehr hohe Malus führen dazu, dass eine Route über die entsprechende Kante nur gewählt wird, wenn keine Alternative verfügbar ist. Dahinter steht die Annahme, dass der Versuch der Versorgung eines Gefahrenbereiches auch dann unternommen werden sollte, wenn die Befahrbarkeit der Route unsicher ist. Die Entscheidung dafür trifft der menschliche Anwender, der anhand von Hinweisen über die potenziellen Probleme jeder Route informiert wird.

Die Gewichtung der Malus stellt eine Nutzenfunktion dar, die beeinflusst, wie sich die Eigenschaften der Kanten auf die Routenplanung auswirken. Berücksichtigt werden die Ausprägungen von Attributen und Fakten. Erfüllen diese bestimmte Vorgaben nicht, wird ein Malus gesetzt. Die Höhe der Malus und damit ihre Auswirkung sind über Präferenzen individuell auf den Anwender und Anwendungsfall anpassbar. Es wird u. a. berücksichtigt ob eine Kante gemieden werden soll, sie schon erkundet wurde oder Schäden aufweist. Sind z. B. nicht erkundete Kanten zu meiden, wird dies durch einen hohen Malus im Term der Präferenz  $P.Umw.Str.\$AID^T\#\#MNichtErkundet^F$  umgesetzt. Dabei sind die Relationen zwischen den Malus zu wahren. Eine nicht erkundete Kante hat immer einen niedrigeren Malus als eine, die als blockiert gemeldet ist. Die Attribute einer Kante bestimmen, ob eine Ressource sie befahren kann. Es wird davon ausgegangen, dass eine geringe Überschreitung der maximal zulässigen Werte vertretbar ist. Die Malus  $P.Umw.Str.\$AID^T\#\#MGewicht^F$  oder  $P.Umw.Str.\$AID^T\#\#MBreite^F$  z. B. legen fest, wie negativ sich ein zu hohes Gewicht einer Einheit oder eine Überschreitung der maximalen Breite auswirkt. Dabei wirkt sich die Höhe der Abweichung aus.

Um sie an veränderte Anforderungen anpassen zu können, ist die Berechnungslogik des Weges anpassbar. Die Berechnung der Malus erfolgt in Wenn-Dann-Regeln, die ohne Eingriff in den Programmcode abänderbar sind. Die aktuell im System verwendete Regel berücksichtigt z. B. nicht, ob eine Kante eine Einbahnstraße ist. Ebenfalls nicht beachtet wird die Gefahr eines Einsturzes von Hochstraßen und Brücken, da im Untersuchungsgebiet diese Strukturen nicht existieren. Falls nötig ließe sich die Regel  $R.Umw.Str\ddot{a}\beta e\#Kantenberechnung^R\{E, ZK\}^{L(*)}$  aber einfach um entsprechende Malus ergänzen.

## 7.1.2. Ressourcenverwaltung im Agenten

Für die Bereitstellung von Entscheidungshilfen benötigen die ADVISOR-Agenten stets aktuelle Informationen über Gefahrenbereiche und verfügbare Ressourcen. Die Algorithmen und Regeln zu deren Bereitstellung erläutern die folgenden Abschnitte.

### 7.1.2.1. Klassifikation von Fähigkeiten

Die Fähigkeiten von Ressourcen legen ihre möglichen Einsatzfelder fest. Die meisten Einheiten sind spezialisiert. Daher müssen bei der Katastrophenbewältigung oft Ressourcen mit unterschiedlichsten Fähigkeiten zusammenarbeiten. Welche Fähigkeiten besondere Relevanz haben, wird für jeden ADVISOR-Agent anhand von Schwellwerten von Ausprägungen in der Liste  $P.Res.MinPrim\ddot{a}rAusstattung.\$AID^T\#\$AN^T\$^F$  festgelegt. Anhand des Wertes erfolgt eine Differenzierung in eine primäre und eine sekundäre Fähigkeit.

Viele Aufgaben können auch von nicht darauf spezialisierten Einheiten erfüllt werden. Für die Suche nach Verschütteten und deren Bergung ist beispielsweise nicht immer ein spezialisiertes Team nötig; dieses agiert allerdings effektiver und vor allem effizienter. Weitere Beispiele sind der Transport von Verletzten, der nicht unbedingt durch Krankenwagen erfolgen muss, oder die Evakuieren von Personen, für die fast jedes Fahrzeug verwendet werden kann.

Die Beschreibung der Fähigkeiten einer Ressource befindet sich in zwei Listen von Termen, den individuellen Fähigkeiten in  $A.Res.Mob.\$CLASS^T\$\$RID^T\$$  sowie denen des Typs aus  $A.Res.Mob.\$CLASS^T\$\$RESTYPE^T\$$ . Die Berechnungsregel  $C.Res.Ausstattung\#F\ddot{a}higkeiten^C\{CLASS^T, RID^T\}^{L(*)}$  fügt die beiden Listen zu einer zusammen. Diese enthält somit alle Fähigkeiten der jeweiligen Einheit. Anhand dieser Liste prüft die Regel  $R.Res.Ausstattung\#Klassifiziere^R\{AN^T, CLASS^T, RID^T\}^{L(*)}$ , ob eine Einheit eine spezifische Fähigkeit besitzt und, wenn ja, ob deren Ausprägung sie als primär oder sekundär geeignet einstuft. Die Beschreibungen der Regeln finden sich in Unterabschnitt A.6.5.

### 7.1.2.2. Verfügbare Ressourcen

Welche Klassen von Ressourcen ein Agent verwaltet, wird durch die Liste  $CLASS^T$  in seinen Präferenzen  $P.Res.VerwalteteRessourcen.\$AID^T\$^{L(T)}$  festgelegt. Um Konflikte zu vermeiden, dürfen zwei ADVISOR-Agenten nicht die gleiche Ressourcenklasse verwalten<sup>4</sup>. Basierend auf den Klassen wird für jeden Agenten eine Schlüsselwert-Liste der unterstellten Ressourcen  $Ext.Ressourcen$  bestimmt. Der Bezeichner der Ressource in der Fakten- und Wissensbasis dient als Schlüssel. Der Wert repräsentiert ihre Verfügbarkeit als booleschen Term (siehe Algorithmus 7.2).

Abhängig von der Ausprägung einer Fähigkeit wird die Nutzbarkeit einer Ressource für eine Aufgabe als primär oder sekundär beurteilt. Um diese Prüfung nicht mehrfach durchführen zu müssen, werden zwei Schlüsselwert-Paar Listen  $Ext.FähigkeitPrimär$  und  $Ext.FähigkeitSekundär$  bestimmt. Die Attribute der Ressourcen werden ergänzt um die Listen  $A.Res.Mob.\$CLASS^T\$.\$RID^T\$.\$Primär^{L(T)}$  und  $A.Res.Mob.\$CLASS^T\$.\$RID^T\$.\$Sekundär^{L(T)}$ . Diese legen fest, für welche Fähigkeiten die jeweilige Einheit eine primäre oder sekundäre Ausprägung aufweist. Die Erstellung der Listen beschreibt Algorithmus 7.2.

---

#### Algorithmus 7.2 Ressourcenübersicht nach Fähigkeiten

---

**Eingabe:** Liste der verwalteten Ressourcenklassen  $P.Res.VerwalteteRessourcen.\$AID^T\$^{L(T)}$ .

**Ergebnis:** Zwei Listen mit der Einordnung der Fähigkeiten einer Ressource in  $A.Res.Mob.\$CLASS^T\$.\$RID^T\$.\$Primär^{L(T)}$  oder  $A.Res.Mob.\$CLASS^T\$.\$RID^T\$.\$Sekundär^{L(T)}$ .

Zwei Schlüsselwert-Paar Listen  $Ext.FähigkeitPrimär$  und  $Ext.FähigkeitSekundär$ . Schlüssel ist der Bezeichner eines Ausstattungsmerkmals  $AN^T$  und Werte jeweils Listen aus Schlüsselwert-Paaren in denen der Bezeichner der Ressource  $Res.Mob.\$CLASS^T\$.\$RID^T\$$  der Schlüssel und die Ausprägung der Fähigkeit der Wert ist.

Eine Liste von Schlüsselwert-Paaren aller unterstellten Ressourcen  $Ext.Ressourcen$ . Schlüssel ist der Bezeichner  $Res.Mob.\$CLASS^T\$.\$RID^T\$$  der Ressource; Wert ist ein Term mit einem Wahrheitswert bezüglich der Verfügbarkeit.

#### Vorbereitung - Erstelle Listen

1. Für jedes Element  $AN^T$  in  $P.Res.MinPrimärAusstattung.\$AID^T\$$ :  
Erstelle die Schlüsselwert-Paar Listen  $Ext.FähigkeitPrimär$  und  $Ext.FähigkeitSekundär$  mit  $AN^T$  und einer leeren Liste als Wert.
2. Erstelle eine leere Liste  $Ext.Ressourcen$ .

#### Auswertung - Klassifikation

Für alle Ressourcen  $Res.Mob.\$CLASS^T\$.\$RID^T\$$  in einer Ressourcenklasse  $CLASS^T$  aus der Liste der durch den Agenten verwalteten Klassen  $P.Res.VerwalteteRessourcen.\$AID^T\$^{L(T)}$ :

---

<sup>4</sup>Um eine Ressource, die ein anderer Agenten verwaltet, anzufordern, muss eine Hilfsanfrage gestellt werden. Sollte diese positiv ausfallen, wird eine entsprechende Einheit an den anfragenden Agenten entsendet.

- Erstelle die Listen  $A.Res.Mob.CLASS^T$.RID^T$.Primär^{L(T)}$  sowie  $A.Res.Mob.CLASS^T$.RID^T$.Sekundär^{L(T)}$ . Füge *Ext.Ressourcen* ein neues Schlüssel-Wert-Paar hinzu mit dem Schlüssel  $Res.Mob.CLASS^T$.RID^T$$  sowie dem Wert *wahr*, falls  $F.Res.Mob.CLASS^T$.RID^T$.Status^T = 'Verfügbar'$  sein sollte, und *falsch* ansonsten.
- Für jedes Element  $AN^T$  in  $P.Res.MinPrimärAusstattung.AID^T$.F$ : Prüfe anhand der Regel  $R.Res.Ausstattung$.Klassifiziere^R\{AN^T, CLASS^T$, RID^T\}^{L(*)}$ , ob die Ressource die Eigenschaft besitzt und sie in primärer oder sekundärer Ausprägung erfüllt. Je nach Ergebnis füge den Wert von  $AN^T$  in  $A.Res.Mob.CLASS^T$.RID^T$.Primär^{L(T)}$  oder  $A.Res.Mob.CLASS^T$.RID^T$.Sekundär^{L(T)}$  ein und füge  $Ext.FähigkeitPrimär$.AN^T$  oder  $Ext.FähigkeitSekundär$.AN^T$  ein neues Element hinzu mit dem Schlüssel  $Res.Mob.CLASS^T$.RID^T$$  und der Ausprägung der Eigenschaft  $(C.Res.Ausstattung$.Fähigkeiten^C\{CLASS^T, RID^T\}$.AN^T)$  als Wert.

### 7.1.2.3. Übersicht über Einsatzstellen und Gefahrenbereiche

Neben einer Übersicht über die Verfügbarkeit der Einsatzkräfte benötigen die ADVISOR-Agenten Informationen über die aktuellen Gefahrenbereiche, die dort tätigen Ressourcen sowie die Anfahrtmöglichkeiten noch nicht zugewiesener Einsatzkräfte zu Gefahrenbereichen. In den Schlüssel-Wert-Listen *Ext.AktiveSchäden* und *Ext.ProgSchäden* sind alle aktuell gemeldeten bzw. prognostizierten Gefahrenbereiche aufgelistet. Schlüssel ist der Bezeichner des Umweltobjektes  $Umw.$TYP^T$.OID^T$$ . Wert ist eine weitere Schlüssel-Wert-Liste mit allen verfügbaren Ressourcen, wobei als Schlüssel der Ressourcenbezeichner  $Res.Mob.CLASS^T$.RID^T$$  dient und als Wert die Distanz der Einheit zum Gefahrenbereich. Mit der Zuordnung von Ressourcen zu einem Gefahrenbereich wird dieser zur Einsatzstelle. Diese sind in der Schlüssel-Wert-Liste *Ext.Einsatzstellen* erfasst. Als Schlüssel dient jeweils die Zeichenkette  $Umw.$TYP^T$.OID^T$$ . Wert ist eine Liste der dort zugewiesenen Einsatzkräfte, welche durch ihren Bezeichner  $Res.Mob.CLASS^T$.RID^T$$  repräsentiert werden. Die Liste *Ext.Schattenressourcen* ist analog aufgebaut und verwaltet die im Verlauf der Entscheidungsunterstützung vorläufig zugeordnete Ressourcen (siehe Unterabschnitt 7.4.2). Algorithmus 7.3 beschreibt, wie die Listen erstellt werden.

#### Algorithmus 7.3 Übersicht über Ressourcen und Einsatzstellen

**Eingabe:** Neue Schadensmeldung (DMT-Message vom Typ *DamageReport*) zu einem Objekt in der Katastrophenumwelt mit dem Bezeichner  $Umw.$TYP^T$.OID^T$$ .

**Ergebnis:** Aktualisierung der Listen *Ext.Einsatzstellen*, *Ext.AktiveSchäden*, *Ext.ProgSchäden* sowie *Ext.Schattenressourcen*.

#### Auswertung - Aktualisiere Listen

1. Werte Schadensmeldung zu dem betroffenen Umweltobjekt  $Umw.\$TYP^T\$.\$OID^T\$$  aus und aktualisiere die vereinigten Fakten  $Ext.FV.Umw.\$TYP^T\$.\$OID^T\$$ , wie in Unterabschnitt 7.2.2 dargestellt.
2. Für alle erfassten Fakten zu dem Umweltobjekt  $Ext.FR.Umw.\$TYP^T\$.\$OID^T\#\$\$Schadensart\$.*$ :
  - a) Wenn mindestens ein aktiver Schaden erfasst ist:
    - i. Ermittle die maximale *Glaubwürdigkeit* aller zu dem Umweltobjekt erfassten Schäden.
    - ii. Wenn ( $Glaubwürdigkeit \geq medium\ confidence$  und  $\neg Abgeleitet$ ) und ( $Umw.\$TYP^T\$.\$OID^T\$$  nicht in der Liste *Ext.AktiveSchäden*):  
Füge ein neues Element  $E$  mit dem Schlüsselwert  $Umw.\$TYP^T\$.\$OID^T\$$  und einer leeren Schlüssel-Wert-Liste  $W$  der Liste *Ext.AktiveSchäden* und *Ext.Schattenressourcen* hinzu.
    - iii. Wenn ( $(Glaubwürdigkeit \geq medium\ confidence$  und  $Abgeleitet$ ) oder ( $Glaubwürdigkeit \leq medium\ probability$ ) und ( $Umw.\$TYP^T\$.\$OID^T\$$  nicht in der Liste *Ext.ProgSchäden* )):  
Füge ein neues Element  $E$  mit dem Schlüsselwert  $Umw.\$TYP^T\$.\$OID^T\$$  und einer leeren Schlüssel-Wert-Liste  $W$  der Liste *Ext.ProgSchäden* und *Ext.Schattenressourcen* hinzu.
    - iv. Wenn ii. oder iii. zutreffen:
      - A. Für jede Ressource  $R$  in *Ext.Ressourcen* die verfügbar ist (Wert = *wahr*):  
Bestimme die kürzeste Distanz in Kilometern  $Dist$  (vgl. Unterabschnitt 7.1.1) zwischen  $Umw.\$TYP^T\$.\$OID^T\$$  und der Position von  $R$ . Füge  $W$  ein neues Element mit dem Schlüssel  $R$  und dem Wert  $Dist$  hinzu.
      - B. Falls nötig, füge *Ext.Einsatzstellen* ein neues Element hinzu mit dem Bezeichner  $Umw.\$TYP^T\$.\$OID^T\$$  als Schlüssel und einer leeren Liste als Wert.
  - b) Wenn kein aktiver Schaden erfasst bzw. prognostiziert ist: Entferne die Zeichenkette  $Umw.\$TYP^T\$.\$OID^T\$$  aus den Listen *Ext.Schattenressourcen* sowie *Ext.AktiveSchäden* bzw. *Ext.ProgSchäden*.

---

---

### 7.1.2.4. Verwaltung von Zustandsänderungen

Die zuvor erstellten Listen der verfügbaren Ressourcen müssen aktualisiert werden, wenn einer Ressource eine Aufgabe zugewiesen wird, sie eine Ruhepause einlegt oder ausfällt. Neben dem Ressourcenstatus des Umweltobjektes müssen die in Algorithmus 7.4 erstellen Übersichtslisten aktuell gehalten werden.

---

---

#### Algorithmus 7.4 Verwalte Zustandsänderung

---

---

**Eingabe:**  $CLASS^T$  und  $RID^T$  der Ressource, deren Status sich ändert, sowie der  $TYP^T$  und die  $OID^T$  des Umweltobjektes, auf das sich die Meldung bezieht.

**Ausgabe:** Aktualisierte die Listen *Ext.FähigkeitPrimär*, *Ext.FähigkeitSekundär*, *Ext.AktiveSchäden* und *Ext.Einsatzstellen* sowie den Status der Ressourcen in  $F.Res.Mob.CLASS^T$.RID^T\#Status^T$  und  $F.Res.Mob.CLASS^T$.RID^T\#EinsatzStart^I$ .

### **Starte Aufgabe**

1. Setze  $F.Res.Mob.CLASS^T$.RID^T\#Status^T = 'Einsatz'$ .
2. Wenn  $F.Res.Mob.CLASS^T$.RID^T\#EinsatzStart^I = leer$ :  
Setze  $F.Res.Mob.CLASS^T$.RID^T\#EinsatzStart^I = C.Umwelt.Bestimme\#AktuelleZeit^I$ .
3. Füge dem Wert des Elements mit dem Schlüssel  $Umw.TYP^T$.OID^T$  in *Ext.Einsatzstellen* die Zeichenkette  $Res.Mob.CLASS^T$.RID^T$  hinzu.
4. Sub-Routine: **Deaktiviere Ressource**

### **Beende Aufgabe**

1. Setze  $F.Res.Mob.CLASS^T$.RID^T\#Status^T = 'Verfügbar'$ .
2. Entferne aus dem Element mit dem Schlüssel  $Umw.TYP^T$.OID^T$  in *Ext.Einsatzstellen* den Wert  $Res.Mob.CLASS^T$.RID^T$ .
3. Sub-Routine: **Aktiviere Ressource**

### **Starte Ruhepause**

1. Setze  $F.Res.Mob.CLASS^T$.RID^T\#Status^T = 'Pause'$ ;  
 $F.Res.Mob.CLASS^T$.RID^T\#PauseStart^I = C.Umwelt.Bestimme\#AktuelleZeit^I$ .
2. Sub-Routine: **Deaktiviere Ressource**

### **Beende Ruhepause**

1. Setze  $F.Res.Mob.CLASS^T$.RID^T\#Status^T = 'Verfügbar'$ ;  
 $F.Res.Mob.CLASS^T$.RID^T\#PauseDauer^I =$   
 $F.Res.Mob.CLASS^T$.RID^T\#PauseStart^I - C.Umwelt.Bestimme\#AktuelleZeit^I$ ;  
 $F.Res.Mob.CLASS^T$.RID^T\#EinsatzStart^I = 0$ .
2. Sub-Routine: **Aktiviere Ressource**

### **Ressourcen-Ausfall**

1. Setze  $F.Res.Mob.CLASS^T$.RID^T\#Status = 'Ausgefallen'$ .
2. Entferne aus dem Element mit dem Schlüssel  $Umw.TYP^T$.OID^T$  in *Ext.Einsatzstellen* den Wert  $Res.Mob.CLASS^T$.RID^T$ .
3. Sub-Routine: **Deaktiviere Ressource**

### **Sub-Routine - Deaktiviere Ressource**

1. Für *Ext.Ressourcen* mit dem Schlüssel  $Res.Mob.CLASS^T$.RID^T$ : Setze Wert auf *falsch*.
2. Für alle Elemente  $AN^T$  in  $A.Res.Mob.CLASS^T$.RID^T$.Primär<sup>L(T)</sup>$  und  $A.Res.Mob.CLASS^T$.RID^T$.Sekundär<sup>L(T)</sup>$ :  
Entferne das Element  $Res.Mob.CLASS^T$.RID^T$  aus dem Wert mit dem Schlüssel  $AN^T$  in *FähigkeitPrimär* bzw. *FähigkeitSekundär*.

3. Für jedes Element  $E$  in  $Ext.AktiveSchäden$  und  $Ext.ProgSchäden$ : Entferne aus dem Wert von  $E$  das Listenelement  $Res.Mob.CLASS^T$.RID^T$$ .

### ***Sub-Routine - Aktiviere Ressource***

1. Für  $Ext.Ressourcen$  mit dem Schlüssel  $Res.Mob.CLASS^T$.RID^T$$ : Setze Wert auf *wahr*.
2. Für alle Elemente  $AN^T$  in  $A.Res.Mob.CLASS^T$.RID^T$.Primär^{L(T)}$  und  $A.Res.Mob.CLASS^T$.RID^T$.Sekundär^{L(T)}$ :  
Füge dem Schlüssel-Wert-Paar mit dem Schlüssel  $AN^T$  in  $FähigkeitPrimär$  bzw.  $FähigkeitSekundär$  das Element  $Res.Mob.CLASS^T$.RID^T$$  hinzu.
3. Für jedes Element  $S$  in  $Ext.AktiveSchäden$  und  $Ext.ProgSchäden$ :  
Bestimme die kürzeste Distanz in Kilometern  $Dist$  (vgl. Unterabschnitt 7.1.1) zwischen dem Umweltobjekt, dessen Referenz der Schlüssel von  $S$  ist, und der Position von  $Res.Mob.CLASS^T$.RID^T$$ . Füge der Schlüssel-Wert-Liste als Wert von  $S$  ein neues Element mit dem Schlüssel  $Res.Mob.CLASS^T$.RID^T$$  und dem Wert von  $Dist$  hinzu.

---

---

## **7.2. Internes Gefahrenbild der Agenten**

Der erste Schritt im menschlichen Entscheidungsprozess ist die Wahrnehmung der verfügbaren Informationen. Quellen sind Messungen, Meldungen und Prognosen zum vorliegenden Schadensereignis. Dabei sind die auf Meldungen beruhenden Fakten teilweise unscharf (vgl. Unterabschnitt 4.2.3 und Unterabschnitt 4.3.5). Typische Fakten sind die geophysikalischen Parameter eines Erdbebens, die Liste der verfügbaren Ressourcen oder Schadensmeldungen. Weitere Informationsquellen sind Prognosen aus Schadensszenarien (vgl. Unterabschnitt 6.2.4 bzw. Unterabschnitt 6.2.6) oder abgeleitete Fakten (vgl. Abschnitt 6.3). Aus all diesen Quellen entwickelt der Entscheidungsträger sein Bild über die Lage im Einsatzgebiet, welches als Ausgangspunkt für die Entscheidungsfindung dient.

Auch die ADVISOR-Agenten entwickeln auf Grundlage ihrer Wahrnehmung der Umwelt ein Bild der Lage. Der hauptsächlich dazu genutzte Sensor ist der elektronische Nachrichtenaustausch. Aus den Meldungen extrahieren die Agenten Fakten. Unabhängig von den durch die Agenten verwalteten Ressourcen muss das Lagebild alle bekannten Gefahren, Risiken und Schäden beinhalten. Entsprechend werden alle Agenten die gleichen Auswertungsregeln an, um anhand der eingehenden Schadensmeldungen fortwährend das interne Lagebild zu aktualisieren. Sie nutzen dazu auch Prognosen aus Simulationen. Aus den verfügbaren Fakten leiten sie mithilfe entsprechender Regeln neue Fakten ab. All diese Informationen gehen in die in den weiteren Abschnitten beschriebenen internen Auswertungen ein. Die dabei erstellte interne Sicht der ADVISOR-Agenten stellt die Grundlage für die kooperative Lagefeststellung und Beurteilung (vgl. Abschnitt 8.2) dar. Diese ergänzt die interne Sicht um eine kooperative Risikobewertung, die zusammen mit dem menschlichen Anwender erfolgt.

Im ersten Schritt der internen Auswertungen erfolgt die Beurteilung der Glaubwürdigkeit eingegangener Schadensmeldungen (vgl. Unterabschnitt 5.4.3) anhand von Fuzzy-Regeln aus der Wissensbasis (siehe Unterabschnitt 5.4.3.6). Ergebnis dieses Schrittes ist eine Menge möglicher Zustände des Umweltobjektes, die mit einer Glaubwürdigkeit versehen sind (siehe Unterabschnitt 5.3.3.2). Jede neue Meldung ergänzt diese Zustandsmenge. Die jeweils glaubwürdigsten Zustandsausprägungen bezüglich jedes Schadenstyps stellen die Grundlage für die Gefahrenbeurteilung des Umweltobjektes dar.

## 7.2.1. Beurteilung der verfügbaren Fakten

Wie in Unterabschnitt 6.2.6 beschrieben kann die DMT-SIM-Komponente Prognosen möglicher Schäden bereitstellen. Zusätzlich können die ADVISOR-Agenten anhand von Regeln aus den Fakten aus Schadensmeldungen, egal ob real oder prognostiziert, weitere Fakten bezüglich möglicher Auswirkungen ableiten. Die meisten der abgeleiteten Fakten und Simulationsergebnisse fließen unverändert in die Auswertungsprozesse der Agenten ein. Zum Teil erfolgt eine weitere Aufbereitung der Informationen in Form von Klassifikationen und Gruppierungen, welche als Gefahrenbeurteilungen  $E.Umw.TYPT.OIDT.AIDT$  ebenfalls in der Fakten- und Wissensbasis abgelegt sind.

### 7.2.1.1. Gefährdungsklasse der betroffenen Personen

Personen in Gebäuden sind bei Erdbebenkatastrophen besonders gefährdet (siehe [SS09]). Ausgangspunkt für die Abschätzung der Opferzahl ist die Anzahl der Personen, die sich während des Schadensereignisses in den Gebäuden befunden haben (vgl. [FEM11]). Diese wird im Weiteren als die Anzahl der betroffenen Personen bezeichnet.

Da Schutz und Rettung von Menschenleben Hauptziele bei der Bewältigung eines Katastrophenereignisses sind, ist die Anzahl der betroffenen Personen ein wichtiger Einflussfaktor bei der Priorisierung von Einsatzkräften. Analog zu Unterabschnitt 6.3.2.4 erfolgt die Einteilung von Gebäuden in Gefährdungsklassen von 1 (*high*) bis 5 (*none*). Die Gefährdungsklasse 4 *unknown* wird hier nicht genutzt, da eine Abschätzung der Anzahl betroffener Personen immer verfügbar ist. Die Zuordnung eines Gebäudes zu einer Gefahrenklasse erfolgt dynamisch anhand der Gegebenheiten im Einsatzgebiet. Sie basiert auf der Anzahl der während des Schadensereignisses anwesenden Personen  $F.Umw.Geb.OIDT\#PersonenBetroffenePersonen^I$  (siehe Unterabschnitt 6.3.1). Das genaue Vorgehen beschreibt Algorithmus 7.5.

---

**Algorithmus 7.5** Anzahl betroffener Personen klassifizieren
 

---

**Eingabe:** Liste der Bezeichner aller Gebäude im Einsatzgebiet  $G$ .

**Ergebnis:** Für jedes Gebäude im Einsatzgebiet sind  $E.Umw.Geb.OID^T$.AID^T$.#PersonsGefahrenklasse^I$  sowie  $F.Umw.Geb.OID^T$.#PersonenBetroffenePersonen^I$  bestimmt.

Eine Liste  $Ext.Umw.Geb.PersonenBetroffenePersonen$  von Gebäuden mit gefährdeten Personen, sortiert nach der Anzahl der Betroffenen  $F.Umw.Geb.OID^T$.#PersonenBetroffenePersonen^I$ .

Die Grenzen zwischen den Gefährdungsklassen hoch (*high*), mittel (*medium*) und gering (*low*).

**Vorbereitung - Erstelle Listen**

1. Für alle Gebäude in  $G$ : Ermittle  $F.Umw.Geb.OID^T$.#PersonenBetroffenePersonen^I$  anhand der Regel  $R.Umw.Geb.#PersonenErwarteteBetroffene^R\{OID^T\}^{L(*)}$ .
2. Kopiere den Inhalt von  $G$  in eine neue Liste  $Ext.Umw.Geb.PersonenBetroffenePersonen$ , im Weiteren als  $G'$  bezeichnet. Sortiere diese Liste aufsteigend anhand des Wertes im Term  $F.Umw.Geb.OID^T$.#PersonenBetroffenePersonen^I$ .

Es gelten die folgenden Definitionen:  $|G'|$  sei die Anzahl der Elemente von  $G'$ ;  $G'(n)$  die Referenz auf das  $n$ -te Element in  $G'$ ;  $x(n)$  die Anzahl der betroffenen Personen ( $F.Umw.Geb.OID^T$.#PersonenBetroffenePersonen^I$ ) im Gebäude mit dem Bezeichner  $G'(n)$

**Auswertung - Bestimme Klassen**

1. Für jedes Gebäude  $g$  mit  $OID_g^T$  in  $G'$ :
  - a) Setze  $E.Umw.Geb.OID_g^T$.AID^T$.#PersonenGefahrenklasseAbgeleitet^B = F.Umw.Geb.OID_g^T$.#PersonenBetroffenePersonenAbgeleitet^B$ .
  - b) Wenn  $F.Umw.Geb.OID_g^T$.#PersonenBetroffenePersonen^I = 0$ :  
Setze  $E.Umw.Geb.OID_g^T$.AID^T$.#PersonsGefahrenklasse^I = 5$  (Gefährdungsklasse *none*) und entferne  $g$  aus  $G'$ .
2. Bestimme die Grenzen zwischen den Gefährdungsklassen  $\bar{b}_{medium}^{low}$  und  $\bar{b}_{high}^{medium}$  anhand von  $F.Umw.Geb.OID^T$.#PersonenBetroffenePersonen^I$ :
  - a) Grenze *medium* zu *high*:
    - i. Setze  $\underline{b}^{high} = \lceil(0, 81 * |G'|)\rceil$  und  $\bar{b}^{medium} = \lceil(0, 60 * |G'|)\rceil$  auf die entsprechenden Stellen in  $|G'|$ .
    - ii. In allen Gebäuden in  $G'$  an Listenpositionen zwischen  $\bar{b}^{medium}$  und  $\underline{b}^{high}$ :  
Bestimme Element  $n$  mit der maximalen Differenz bei der Anzahl der Verletzten  $d_n = x(n) - x(n - 1)$  und setze  $\bar{b}_{high}^{medium} = n$ .
  - b) Grenze *low* zu *medium*:
    - i. Setze  $\underline{b}^{medium} = \lceil(0, 41 * |G'|)\rceil$  und  $\bar{b}^{low} = \lceil(0, 2 * |G'|)\rceil$  auf die entsprechenden Stellen in  $|G'|$ .
    - ii. In allen Gebäuden in  $G'$  an Listenpositionen zwischen  $\bar{b}^{low}$  und  $\underline{b}^{medium}$ :  
Bestimme Element  $n$  mit der maximalen Differenz bei der Anzahl der Verletzten  $d_n = x(n) - x(n - 1)$  und setze  $\bar{b}_{medium}^{low} = n$ .

3. Setze Gefährdungsklassen für die Gebäude:

- Gefährdungsklassen *low*: Für alle Gebäude  $g$  an den Stellen *Anfang* bis  $\bar{b}_{medium}^{low}$  in  $G'$ : Setze  $E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\$\#PersonsGefahrenklasse^I = 3$  für  $g$ .
- Gefährdungsklassen *medium*: Für alle Gebäude  $g$  an den Stellen  $\bar{b}_{medium}^{low}$  bis  $\bar{b}_{high}^{medium}$  in  $G'$ : Setze  $E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\$\#PersonsGefahrenklasse^I = 2$  für  $g$ .
- Gefährdungsklassen *high*: Für alle Gebäude  $g$  an den Stellen  $\bar{b}_{high}^{medium}$  bis *Ende* in  $G'$ : Setze  $E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\$\#PersonsGefahrenklasse^I = 1$  für  $g$ .

4. Setze  $Ext.Umw.Geb.PersonenBetroffenePersonen = G'$ .

Eine anhand der Anzahl der betroffenen Personen im Gebäude sortierte Liste, wird durch den Algorithmus in drei Abschnitte für die Gefährdungsklassen *low*, *medium* und *high* eingeteilt. Die Grenzen zwischen den Gefährdungsklassen basieren auf zwei Kriterien. Zunächst werden die Intervalle bestimmt, in denen sich die Listenpositionen der Klassengrenze befinden. Beispielsweise liegt der Übergang zwischen den Gefährdungsklassen *high* und *medium* zwischen den Gebäuden mit der Listenposition  $\underline{b}^{high}$  und  $\bar{b}^{medium}$ . Die genaue Position befindet sich zwischen den aufeinander folgenden Listenelementen mit der maximale Differenz. Ahand der Listenposition kann jedem Gebäude eine Gefährdungsklasse  $E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\$\#PersonsGefahrenklasse^I$  aufgrund der Anzahl der betroffenen Personen zugewiesen werden. Da es für die Anzahl der Personen in einem Gebäude keine Obergrenze existiert und sie einen un stetigen Verlauf aufweist, erzeugt dieses Vorgehen plausiblere Klassengrenzen als starre Quartile.

### 7.2.1.2. Gefährdungsklasse betroffener Assets

Als Assets werden im Weiteren wertschöpfende sowie werthaltige Gebäudeentitäten im Einsatzgebiet bezeichnet. Die Fokussierung auf Gebäude erfolgt, da sie durch die Folgen eines Erdbebens besonders gefährdet sind. Der mögliche Schadensumfang an einem Gebäudeasset resultiert aus finanziell quantifizierbaren Schäden sowie den negativen Auswirkungen, die sich aufgrund seines Ausfalls bzw. seiner Beschädigung ergeben.

Die finanziellen Schäden lassen sich als Summe der Aufwendungen beziffern, die für die strukturelle Wiederherstellung bzw. den Wiederaufbau  $A.Umw.Geb.\$OID^T\$\#Wiederherstellung$  des Gebäudes nötig sind plus dem Wert des im Gebäude vorhandene Inventars  $A.Umw.Geb.\$OID^T\$\#InventarWert$ , welches aus seiner Ausstattung und gelagerten Gütern besteht. Dazu kommen die Kosten, die aus dem Ausfalls der vom bzw. im Gebäude erbrachten Leistungen  $A.Umw.Geb.\$OID^T\$\#AusfallKosten$  resultieren. Der finanzielle Schaden wird durch die Regeln  $R.Umw.Geb.\#FinSchadenStruktur$  bzw.  $R.Umw.Geb.\#FinSchadenFeuer$  bestimmt.

**Regeln 7.1** R.Umw.Geb#FinSchadenStruktur
$$R.Umw.Geb\#FinSchadenStruktur^R\{OID^T\}^{L(*)}$$

$$Default\{WHM = 0; AKM = 0; IWM = 0\}$$

$$Wenn(R.Umw.Geb\#StrukturschadenGlaubwürdigster^R\{OID^T\}\#Schadensklasse^I = 1)$$

$$Dann[WHM = 0, 15; AKM = 0, 2; IWM = 0, 2]$$

...

	<i>WHM</i>	<i>AKM</i>	<i>IWM</i>
<i>DS0/not burned</i>	0	0	0
<i>DS1/low burned</i>	0,15	0,2	0,2
<i>DS2/mod. burned</i>	0,3	1	0,4
<i>DS3/str. burned</i>	0,7	1	0,8
<i>DS4 – 5/burned out</i>	1	1	1

**Tabelle 7.1.:** Multiplikatoren zur Bestimmung der Schadenssumme
$$Ergebnis\{Schaden^F = A.Umw.Geb.\$OID^T\#\$Wiederherstellung*\}$$

$$A.Umw.Geb.\$OID^T\#\$AusfallKosten * AKM + A.Umw.Geb.\$OID^T\#\$InventarWert*$$

$$IWM;$$

$$Glaubwürdigkeit^F = R.Umw.Geb\#StrukturschadenGlaubwürdigster^R\{OID^T\}\#$$

$$Glaubwürdigkeit^F;$$

$$Zeitpunkt^I = R.Umw.Geb\#StrukturschadenGlaubwürdigster^R\{OID^T\}\#\$Zeitpunkt^I$$

$$Abgeleitet^B = R.Umw.Geb\#StrukturschadenGlaubwürdigster^R\{OID^T\}\#\$Abgeleitet^B\}$$

Abhängig vom Gebäudeschaden werden die Aufwände mit den Multiplikatoren *WHM*, *AKM* und *IWM* zwischen 0 und 1 verrechnet. Ihre Werte sind unabhängig von der Schadensart. Das Vorgehen für Gebäudebrände in der Regel *R.Umw.Geb#FinSchadenFeuer*<sup>R</sup>{*OID*<sup>T</sup>}<sup>L(\*)</sup> ist daher gleich. Unterschieden werden fünf Stufen. Bei strukturellen Schäden werden die Kosten für die Klassen *DS4* und *DS5* als gleichwertig betrachtet. Die Abhängigkeit zwischen den Schadensklassen und Multiplikatoren stellt Tabelle 7.1 dar.

Für die Priorisierung durch den Agenten ist nicht der absolute Wert der Schadenssumme aus *R.Umw.Geb#FinSchadenStruktur \ Feuer*<sup>R</sup>{*OID*<sup>T</sup>}<sup>L(\*)</sup> ausschlaggebend, sondern dessen Einordnung in Relation zur Situation im Einsatzgebiet, also zu den Schäden an allen Gebäuden. Analog zum Vorgehen bei den betroffenen Personen in Gebäuden erfolgt eine Klassifikation in hoch (*high*), mittel (*medium*) und gering (*low*). Die beschädigten Gebäude sind nach ihrem potenziellen finanziellen Schaden

sortiert. Das erste Drittel ist in die Klasse *hoch*, das zweite in *mittel* und das letzte in *gering* eingruppiert. Die sich daraus ergebende Zuordnung jedes Gebäudes ist in den Termen  $E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\$ \# FinSchadensklasseStruktur \setminus Feuer^I$  abgelegt.

Die Auswirkungen des Ausfalls der Leistungen eines Gebäudes werden anhand seiner primären Nutzungsklasse ebenfalls in eine der drei Klassen hoch (*high*), mittel (*medium*) oder gering (*low*) eingeordnet. Es wird angenommen, dass ein Gebäude bei einer mehr als leichten strukturellen Beschädigung oder einem Feuer, unabhängig vom Umfang, seine Funktion nicht mehr erbringen kann. Die Zuordnungen in eine Klasse (siehe Tabelle 7.2) erfolgt in der Regel  $R.Umw.Geb \# NutzungSchaden^R \{OID^T\}^{L(*)}$  und wird im Term  $E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\$ \# NutzungSchadensklasse^I$  abgelegt.

---

**Regeln 7.2**  $R.Umw.Geb \# NutzungSchaden$ 


---

$R.Umw.Geb \# NutzungSchaden^R \{OID^T\}^{L(*)}$

$Default\{Schadensklasse^I = 5\}$

$Wenn((R.Umw.Geb \# StrukturschadenGlaubwürdigster^R \{OID^T\} \# Schadensklasse^I > 1) |$   
 $(R.Umw.Geb \# FeuerschadenGlaubwürdigster^R \{OID^T\} \# Schadensklasse^I > 0))$

$Dann\{Schadensklasse^I = \dots$

<i>high</i>	<i>medium</i>	<i>low</i>
<i>COM6</i>	<i>COM2</i>	<i>RES*</i>
<i>COM7</i>	<i>COM5</i>	<i>COM1</i>
<i>GOV1</i>	<i>COM9</i>	<i>COM3</i>
<i>GOV2</i>	<i>IND1</i>	<i>COM4</i>
<i>EDU1</i>	<i>IND2</i>	<i>COM8</i>
<i>EDU2</i>	<i>IND3</i>	<i>COM4</i>
	<i>IND5</i>	<i>IND4</i>
		<i>IND5</i>
		<i>AGR1</i>
		<i>REL1</i>

**Tabelle 7.2.:** Gebäude mit besonderem Nutzung

$Ergebnis\{$

$SetReg : Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\$ \# NutzungSchadensklasse^I = Schadensklasse^I;$

$Glaubwürdigkeit^F = R.Umw.Geb\#StrukturschadenGlaubwürdigster^R\{OID^T\}\#$

$Glaubwürdigkeit^F;$

$Zeitpunkt^I = R.Umw.Geb\#StrukturschadenGlaubwürdigster^R\{OID^T\}\#Zeitpunkt^I$

$Abgeleitet^B = R.Umw.Geb\#StrukturschadenGlaubwürdigster^R\{OID^T\}\#Abgeleitet^B$

---

Die Prognose des Umfangs des Asset-Schadens an einem Gebäude ist in  $E.Umw.Geb.\$OID^T\$. \$AID^T\#\$AssetGefahrenklasse^I$  abgelegt. Sie ergibt sich aus dem Maximum von  $E.Umw.Geb.\$OID^T\$. \$AID^T\#\$FinSchadensklasse^I$  und  $E.Umw.Geb.\$OID^T\$. \$AID^T\#\$NutzungSchadensklasse^I$ .

### 7.2.1.3. Gefahr der Brandausbreitung

Aktive Brandherde können sich auf beliebige andere Objekte der Umwelt ausbreiten. In dieser Arbeit wird nur der Fall von brennenden auf nicht brennende Gebäude betrachtet. Ein Gebäude ist als Quelle einer Ausbreitung relevant, wenn  $R.Umw.Geb\#FeuerstärkeGlaubwürdigster^R\{OID^T\}\#Schadensklasse \geq 1$  und somit eine Meldung über einen Brandherd vorliegt. Entscheidend für die Ausbreitungssimulation ist die Schadensklasse der Brandstärke, anhand derer die vom Brand abgegebene Wärmestrahlung über die Zeit bestimmt wird. Für eine Entzündung muss an einem Punkt eines Nachbargebäudes eine bestimmte Strahlungsenergie über einen vorgegebenen Zeitraum vorliegen (siehe Unterabschnitt 6.2.3). Wie hoch die Wahrscheinlichkeit für eine Entzündung ist, lässt sich aufgrund der verfügbaren Informationen nicht genau quantifizieren. Stattdessen erfolgt eine Einteilung aller benachbarten Gebäude in fünf Gefahrenklassen (siehe Algorithmus 7.6).

---

#### Algorithmus 7.6 Bestimmung der Gefahr einer Brandausbreitung

---

**Eingabe:** Die *OID* eines brennenden Gebäudes  $\$OID_{Brennt}^T\$$ .

**Ergebnis:** Die Gefahr der Ausbreitung eines Feuers auf umstehende Gebäude in Form einer Schlüssel-Wert-Liste  $E.Umw.Geb.\$OID_{Brennt}^T\$. \$AID^T\#\$FeuerAusbreitung^{L(I)}$ . Schlüssel ist jeweilige *OID* des potentiell gefährdeten Gebäudes und Wert die Gefahreinschätzung für seine Entzündung.

Die maximale Gefahr einer Ausbreitung in dem Term  $E.Umw.Geb.\$OID_{Brennt}^T\$. \$AID^T\#\$FeuerAusbreitungMax^I$ .

#### Vorbereitung - Erstelle Listen

1. Ermittle die *OID* aller Gebäude, die aufgrund ihrer Position von der Ausbreitung des Feuers betroffenen sein könnten.
2. Speichere die *OID* der potenziell betroffenen Gebäude in der Liste  $Ext.Umw.Geb.\$OID_{Brennt}^T\$. \$Feuer.Gefährdet$ .

#### Auswertung - Bestimme Gefahren

1. Für alle Elemente in  $Ext.Umw.Geb.\$OID_{Brennt}^T\$. \$Feuer.Gefährdet$ :

- a) Entnehme der Liste die Id des nächsten Gebäudes  $OID_{Next}^T$ .
- b) Bestimme die Strahlungsabgabe zum gewählten Gebäude, wähle den Punkt, an dem die Intensität der Wärmestrahlung die Schwelle zur Entzündung am längsten überschritten hat, und lege die Dauer dafür in  $t_{next}^{real}$  ab.
- c) Sei  $t_{entzündung}$  die Dauer, die für eine Entzündung als notwendig erachtet wird, so bestimmt sich die Gefahr (*hazard*) wie folgt:

$$hazard = \begin{cases} t^{ent} * 0,8 \geq t_{next}^{real} & hazard = 5 \Rightarrow none \\ t^{ent} * 0,95 \geq t_{next}^{real} > t^{ent} * 0,8 & hazard = 4 \Rightarrow unknown \\ t^{ent} * 1,05 \geq t_{next}^{real} > t^{ent} * 0,95 & hazard = 3 \Rightarrow low \\ t^{ent} * 1,2 \geq t_{next}^{real} > t^{ent} * 1,05 & hazard = 2 \Rightarrow medium \\ t_{next}^{real} > t^{ent} * 1,2 & hazard = 1 \Rightarrow high \end{cases}$$

- d) Wenn *hazard* größer als *none*:

Füge  $E.Umw.Geb.OID_{Brennt}^T$. $AID^T$ # Feuer Ausbreitung<sup>L(I)</sup>$  ein Schlüssel-Wert-Paar mit dem Schlüssel  $OID_{Next}^T$  und dem Wert *hazard* hinzu.

2. Bestimme das Gebäude mit dem maximalen Gefährdungspotenzial  $OID_{max}^T$  und setze  $E.Umw.Geb.OID_{Brennt}^T$. $AID^T$ # Feuer AusbreitungMax = %MAX {E.Umw.Geb.OID_{Brennt}^T$. $AID^T$ # Feuer Ausbreitung<sup>L(I)</sup>}<sup>F</sup>.$
3. Anhand des Fakts der Brandstärke, auf dem sie basiert, setze die Glaubwürdigkeit der Gefahrenabschätzung  $E.Umw.Geb.OID_{Brennt}^T$. $AID^T$ # Feuer AusbreitungGlaubwürdigkeit = R.Umw.Geb.# FeuerstärkeGlaubwürdigster<sup>R</sup>{OID_{Brennt}^T} # Glaubwürdigkeit<sup>F</sup>.$

Ergebnis von Algorithmus 7.6 ist die Liste  $E.Umw.Geb.OID_{Brennt}^T$. $AID^T$ # Feuer Ausbreitung<sup>L(I)</sup>$  die Gefahr einer Brandausbreitung für jedes direkten Nachbargebäude enthält sowie die maximale Gefahr einer Brandausbreitung im Term  $E.Umw.Geb.OID^T$. $AID^T$ # Feuer AusbreitungMax. Die jeweilige Gefahreinstufung ergibt sich aus der Dauer, die ein Punkt eines Gebäudes einem kritischen Wert an Wärmestrahlung ausgesetzt ist. Nicht berücksichtigt wird die neue Gefahr, die aus einem potentiell entzündeten Gebäude resultieren würde. In der Simulation eines Schadensszenarios (Unterabschnitt 6.2.4) oder Einsatzverlaufs (Unterabschnitt 6.2.6) wird sie dagegen mit einbezogen. Da diese Simulation allerdings sehr spekulativ ist, wird sie nicht im Lagebild der ADVISOR-Agenten berücksichtigt.$

## 7.2.2. Lagebild aus realen, prognostizierten und abgeleiteten Fakten

Trotz ihrer Unsicherheit sind Prognosen und abgeleitete Fakten hilfreiche ergänzende Informationsquellen zu den Meldungen aus der realen Umwelt. Insbesondere, solange ein lückenhaftes Bild der Situation im Einsatzgebiet vorliegt, wie dies zu Beginn der Katastrophenbewältigung oft der Fall ist. Die Bewertung der Lage  $Ext.FV.Umw.$TYP^T$. $OID^T$$  besteht daher aus reale Informationen ergänzt

um Prognosen. Sie wird durch die Vereinigung der glaubwürdigsten realen, prognostizierten sowie abgeleiteten Fakten gebildet. Für die Fakten zur Situation eines Gebäude  $Ext.FV.Umw.Geb.OID^T$  wird im Weiteren der verkürzte Bezeichner  $EF.OID^T$  verwendet.

---

### Algorithmus 7.7 Vereinigung der verfügbaren Fakten

---

**Eingabe:** Die Fakten aller Umweltobjekte in der Katastrophenumwelt  $F.Umw.TYP^T.OID^T$ .

**Ergebnis:** Die Schlüssel-Wert-Liste  $Ext.FV.Umw.TYP^T.OID^T$ , welche die Vereinigung der glaubwürdigsten realen  $Ext.FR.Umw.TYP^T.OID^T$  und prognostizierten Fakten  $Ext.FP.Umw.TYP^T.OID^T$  für das Umweltobjekt  $TYP^T.OID^T$  darstellen.

Die Anzahl der Objekte eines Typs, für die eine reale Meldung existiert  $F.Umw.TYP^T\#ObjekteErkundet^I$ .

#### Ermittle Zustand

Für alle Umweltobjekte aus  $F.Umw.TYP^T.OID^T$ :

1. Ermittle für jede Schadensart anhand von Unterunterabschnitt 6.3.2.1 die glaubwürdigste reale Beobachtung bezüglich des Umweltobjektes. Füge diese der Schlüssel-Wert-Liste  $Ext.FR.Umw.TYP^T.OID^T$  hinzu. Die Benennung der Terme zur Beschreibung der Schäden folgt dabei dem Schema  $\#Schadensart \oplus Schadensklasse^I \setminus Glaubwürdigkeit^F \setminus Zeitpunkt^I$ .
2. Ermittle für jede Schadensart analog zu Unterunterabschnitt 6.3.2.1 die glaubwürdigste Prognose bezüglich des Umweltobjektes. Füge diese der Schlüssel-Wert-Liste  $Ext.FP.Umw.TYP^T.OID^T$  hinzu, mit einem Namensschema der Terme analog zu 1.

#### Bestimme Erkundung

Für alle Umweltobjekte aus  $Ext.FR.Umw.TYP^T.OID^T$ :

Bestimme  $F.Umw.TYP^T\#ObjekteErkundet^I$  anhand der Anzahl an Objekten des jeweiligen Typs ( $TYP^T$ ) in der Liste.

#### Bestimme Vereinigung

Für alle Umweltobjekte aus  $F.Umw.TYP^T.OID^T$ :

1. Erstelle eine leere Schlüssel-Wert-Liste  $Ext.FV.Umw.TYP^T.OID^T$ .
2. Kopiere alle Fakten aus  $Ext.FR.Umw.TYP^T.OID^T$  in die Liste  $Ext.FV.Umw.TYP^T.OID^T$ .
3. Ergänze alle nicht ausgefüllten Fakten aus  $Ext.FV.Umw.TYP^T.OID^T$  mit Fakten aus  $Ext.FP.Umw.TYP^T.OID^T$ .

#### Bestimme Änderung

Bei Änderung in den Fakten eines Umweltobjektes  $F.Umw.TYP^T.OID^T$ :

Wiederhole die Schritte **Ermittle Zustand**, **Bestimme Erkundung** und **Bestimme Vereinigung** für dieses Umweltobjekt.

---

Beim Algorithmus 7.7 zur Ermittlung der aktuellen Lagen überschreiben glaubwürdigere Fakten, typischerweise aus realen Meldungen, weniger glaubwürdige. Prognostiziert z. B. eine Simulation einen Schaden bei einem Gebäude A, eine reale

Beobachtung weist das Gebäude aber als unbeschädigt aus, wird die Gefahrenbeurteilung der realen Beobachtung in die vereinigten Fakten übernommen. Existiert dagegen keine reale Beobachtung, wird angenommen, dass das Gebäude die prognostizierte Gefahrenquelle aufweist. Glaubwürdigere reale Fakten zum gleichen Objekt verdrängen Prognosen sowie weniger glaubwürdige reale Informationen. Durch die zunehmende Zahl an realen Meldungen im Verlauf der Katastrophenbewältigung nimmt die Qualität der Lageninformationen in *Ext.FV* stetig zu. Um dies zu quantifizieren, wird der Anteil des erkundeten Einsatzgebietes erfasst. Der Wert von  $C.Umw\#Erkundungsgrad^F = \frac{\sum_{F.Umw.\$TYP^T}\$ \#ObjekteErkundet^I}{\sum_{F.Umw.\$TYP^T}\$ \#ObjekteInUmwelt}$  nähert sich 1, je mehr vom Einsatzgebiet erkundet wurde.

### 7.2.3. Qualität der Prognosen

Bei der Verschmelzung von realen mit prognostizierten Fakten lässt sich auch beurteilen, wie gut die Prognose war. Wird eine Prognose mit realen Fakten überschrieben, wird verglichen, wie stark reale Beobachtung und Prognose voneinander abweichen. Das Vorgehen bei der Bestimmung der Abweichung der Daten hängt von ihrer Ausprägung in der Fakten- und Wissensbasis ab. Die Beurteilung ihrer Qualität ist für die Verbesserung der Prognoseverfahren und damit der Weiterentwicklung des Systems hilfreich. Aber auch für den Anwender ist die Information relevant. Selbst ausgefeilte Prognosen, die auf einer deutlich umfangreicheren Datenbasis beruhen als der im DMT verfügbaren, können falsche Voraussagen liefern, sollten sie spezifische Faktoren der aktuellen Situation nicht berücksichtigen. Anwender sollten daher darüber informiert sein, welche Qualität die Prognosen in der aktuellen Lage haben. Ergänzend zu der Darstellung der Glaubwürdigkeit einer Meldung wird dazu ein Tooltip über den prognostizierten Werten eingeblendet, der die Bewertung der Qualität der zugrunde liegenden Prognose zeigt (vgl. Unterunterabschnitt 5.4.3.2).

#### 7.2.3.1. Strukturelle Schädigung eines Gebäudes

Mithilfe der Erdbebensimulation EQSIM können strukturelle Schäden für einzelne Gebäude abgeschätzt werden. Ihre Ergebnisse sind abhängig von den geophysikalischen Parametern eines Bebens und den Gegebenheiten betrachteten Gebietes. Wie gut die Abschätzung bei den aktuellen Gegebenheiten ist, wird anhand der Abweichung der realen Lage vom Prognoseergebnis ermittelt. Dazu sind die Schäden in beiden Fällen in Klassen von 0 für *DS0* bis 5 für *DS5* quantifiziert. Der Wert der Abweichung für ein Gebäude ergibt sich wie folgt:  $AbweichungSchaden^{GebäudeX} = |BeobachteterSchaden^{GebäudeX} - PrognostizierterSchaden^{GebäudeX}|$ .

Berechnet wird die Abweichung für jede vorliegende reale Schadensmeldung. Die eigentliche Zuverlässigkeit der Schadensprognose bestimmt sich als die durchschnittliche Abweichung über alle Gebäude, für die eine Beobachtung vorliegt. Sie ist definiert als  $Ext.PrognoseGebäudeschaden = \frac{\sum AbweichungSchaden^{GebäudeX}}{n}$ , wobei  $n$  die

Zahl der Gebäude ist und  $\sum Abweichung^{GebäudeX}$  die Summe der Abweichungen. Bei einer durchschnittlichen Abweichung kleiner 2 ist die Prognose als gut anzusehen. Falls  $\frac{Anzahl\ Gebäude\ mit\ Schadensmeldung}{Anzahl\ Gebäude\ mit\ Schadensprognose} > 0,2$  ist, also für mehr als 20 % der Gebäude mit einer Schadensprognose eine reale Meldung vorliegt, wird dem Nutzer der Wert der Durchschnittsabweichung angezeigt. Ist der Anteil geringer wird die Datenbasis als unzureichende angesehen und es wird *unknown* eingeblendet.

### 7.2.3.2. Entzündung von Gebäuden

Anhand der Regel aus Unterunterabschnitt 6.3.2.4 lässt sich abschätzen, wie hoch das Risiko ist, dass sich ein Gebäude als Folge seiner strukturellen Schäden entzündet. Die Glaubwürdigkeit der Prognose wird anhand der Abweichung zwischen realen Beobachtungen und erwarteten Fakten bestimmt.

Dazu werden die folgenden Werte genutzt:

- *Ext.PrognoseBrenntKorrekt* als Anzahl der korrekt prognostizierten Brände,
- *Ext.PrognoseBrenntInitial* als Anzahl der initial vorausgesagten Brände sowie
- *Ext.BrenntUntersucht* als Anzahl der Gebäude, für die sowohl eine Prognose als auch eine reale Meldung existiert.

Zu Anfang sind *Ext.PrognoseBrenntKorrekt* = *Ext.PrognoseBrenntInitial* und es ist *Ext.BrenntUntersucht* = 0. Trifft für ein Gebäude, welches als brennend prognostiziert wurde, eine Schadensmeldung ein, die es als nicht brennend ausweist, wird eine Anpassung der Werte wie folgt vorgenommen:

- *Ext.PrognoseBrenntKorrekt* = *Ext.PrognoseBrenntKorrekt* – 1 und
- *Ext.BrenntUntersucht* = *Ext.BrenntUntersucht* + 1.

Bei Prognosen bezüglich nicht brennender Gebäude mit den Termen *Ext.PrognoseBrenntNichtKorrekt*, *Ext.PrognoseBrenntNichtInitial* und *Ext.BrenntNichtUntersucht* ist das Vorgehen analog.

Die Qualität der Prognosen Anhand des Fehlers 1. bzw. 2. Art bewerten die beiden Quotienten:

- $Ext.QualitätPrognoseBrennt = \frac{Ext.PrognoseBrenntKorrekt}{Ext.PrognoseBrenntInitial - Ext.BrenntUntersucht - Ext.PrognoseBrenntKorrekt}$  bzw.
- $Ext.QualitätPrognoseBrenntNicht = \frac{Ext.PrognoseBrenntNichtKorrekt}{Ext.PrognoseBrenntNichtInitial - Ext.BrenntNichtUntersucht - Ext.PrognoseBrenntNichtKorrekt}$

Die exakten Werte der Quotienten sind für die Weiterwicklung des Prognoseverfahrens von Interesse. Anwender erhalten eine sprachliche Beurteilung, welche die Zuverlässigkeit in Klassen gruppiert. Dabei wird so lange *unknown* angezeigt, wie die Anzahl der gemeldeten Gebäude weniger als 20 % der als brennend prognostizierten Gebäude abdeckt:

- *unknown* ( $\frac{Ext.BrenntUntersucht}{Ext.PrognoseBrenntInitial} < 0, 2$ ),
- *low* ( $\frac{Ext.BrenntUntersucht}{Ext.PrognoseBrenntInitial} < 0, 2$  und  $Ext.QualitätPrognoseBrennt \leq 0, 25$ ),
- *medium* ( $\frac{Ext.BrenntUntersucht}{Ext.PrognoseBrenntInitial} < 0, 2$  und  $0, 7 < Ext.QualitätPrognoseBrennt > 0, 25$ ) oder
- *high* ( $\frac{Ext.BrenntUntersucht}{Ext.PrognoseBrenntInitial} < 0, 2$  und  $Ext.QualitätPrognoseBrennt \geq 0, 7$ ).

Das Vorgehen bei der Bestimmung der Zuverlässigkeit der Bewertung von *Ext.QualitätPrognoseBrenntNicht* verläuft analog.

### 7.2.3.3. Opferbestimmung

Zur Bestimmung der Zuverlässigkeit der Opferprognosen wird die prozentuale Abweichung zwischen dem Ergebnis der in Unterunterabschnitt 6.3.2.2 beschriebenen Prognose und auf realen Meldungen beruhenden Fakten bestimmt. Die Prognose liefert mehrere Terme mit einer detaillierten Abschätzung  $\#Personenschaden! \oplus T0 \setminus T1 \setminus T2 \setminus T3 \setminus T4 \oplus Erwartet^I$ , die zwischen den verschiedenen Triageklassen unterscheidet. Aus der Summe der Klassen ergibt sich auch die Gesamtzahl der Verletzten  $\#Personenschaden!PersonenGeschädigtAnzahl^F$ . Je nach Detailgrad der real verfügbaren Beobachtungen wird die Zuverlässigkeit der Detailprognose nach Triageklassen oder nur die der Gesamtzahl ermittelt.

Die Abweichung der Prognose nach Triageklassen ergibt sich aus der gewichteten Differenz in den einzelnen Klassen. Somit ist  $AbweichungTriage^{ObjektX} = \frac{|Prognose^{X\#Personenschaden!T0Erwartet} - Real^{X\#Personenschaden!T0Erwartet}|}{Real^{X\#Personenschaden!T0Erwartet} * 5} + \dots + \frac{|Prognose^{X\#Personenschaden!T4Erwartet} - Real^{X\#Personenschaden!T4Erwartet}|}{Real^{X\#Personenschaden!T4Erwartet} * 5}$ . Analog zu der Abweichung bei Gebäudeschäden ist die Gesamtabweichung  $Ext.PrognoseBetroffeneTriage = \frac{\sum AbweichungTriage^{GebäudeX}}{n}$ . Für die Gesamtzahl der Betroffenen ist die Abweichung pro Umweltobjekt  $AbweichungBetroffene^{ObjektX} = \frac{|Prognose^{X\#Personenschaden!PersonenGeschädigtAnzahl}|}{Real^{X\#Personenschaden!PersonenGeschädigtAnzahl}} - \frac{\sum AbweichungBetroffene^{GebäudeX}}{n}$  und  $Ext.PrognoseBetroffene = \frac{\sum AbweichungBetroffene^{GebäudeX}}{n}$  die Kennzahl für das gesamte Einsatzgebiet. Für den Anwender werden die jeweiligen Abweichungen als Prozentzahlen dargestellt. Sie gelten solange als unbekannt (*unknown*), bis der Anteil der Einsatzstelle, für die eine Meldung der Verletzten existiert, weniger als 20 % beträgt.

## 7.3. Interne Risikobewertung der Agenten

Die dargestellten Regeln und Algorithmen versorgen die ADVISOR-Agenten mit einem Bild der realen und potenziellen Lage in der Katastrophenumwelt. Auf Basis dieser Informationen werden die Risiken von Gefahrenbereichen bewertet und

grafisch dargestellt (vgl. Abschnitt 6.5). Zusammen mit textuellen Erläuterungen ihres Inhaltes soll die Risikomatrix eine Grundlage für die Bewertungen durch den menschlichen Anwender bereitstellen.

### 7.3.1. Regelbasierte Risikobewertung

Die in Abschnitt 7.2 dargestellten Methoden bestimmen Gefahrenpotenziale und ihre Auswirkungen auf Instanzen von Umweltobjekten. Durch die Kombination beider Informationen in Wenn-Dann-Regeln der Wissensbasis wird die Risikomatrix des betrachteten Umweltobjektes bestimmt (vgl. Abschnitt 5.1). Deren Werte sind in der Faktenbasis unter den Bezeichnern  $E.Umw.Geb.OID^T$.AID^T\# \$BetroffeneInstanz!\$Gefahrenquelle^I$  abgelegt. Initial sind alle Terme mit *keinem (none)* bzw. einem *undefinierten (undefined)* Risiko belegt.<sup>5</sup> Liegt ein Risiko vor, wird es in die Klassen *gering (low)*, *mittel (medium)*, *hoch (high)* oder *unbekannt (unknown)* eingeordnet (vgl. auch Abschnitt 6.5). In den Termen der Faktenbasis werden diese Klassen durch einen Ganzzahlenwert zwischen 6 (*undefined*) und 1 (*high*) repräsentiert.<sup>6</sup> Zur Erläuterung jedes Risikos kann ein Texthinweis in  $E.Umw.Geb.OID^T$.AID^T\# \$BetroffeneInstanz\ ! \$Gefahrenquelle\$Hinweis^T$  abgelegt sein. Weitere Terme speichern die Glaubwürdigkeit der Fakten, auf denen die Risikobewertung basiert  $E.Umw.Geb.OID^T$.AID^T\# \$BetroffeneInstanz!\$Gefahrenquelle\$Glaubwürdigkeit^F$ , und ob diese abgeleitet sind  $E.Umw.Geb.OID^T$.AID^T\#\$BetroffeneInstanz!\$Gefahrenquelle\$Abgeleitet^B$ .

Die Wenn-Dann-Regeln der Wissensbasis bestimmen aus den gemeldeten Schäden und den daraus abgeleiteten Fakten die Bewertungen der Risiken und die zugehörigen Hinweise. Für Gebäude ist ein Regelwerk definiert, welches Vorschläge für einen Teil der Risiken liefert. Modelle für die Betrachtung der Risiken in den Spalten *Electricity*, *Angst*, *Toxin Propagation* sowie *Injury* bzw. der Instanzen in den Zeilen *Environment* und *Animals* wurden nicht entwickelt. Auch mit dieser Einschränkung ist die Gesamtheit der für die 29 Risiken definierten Regelblöcke sehr umfangreich. Da sich viele Regeln ähneln, erfolgt im Weiteren keine vollständige Darstellung. Stattdessen werden anhand repräsentativer Auszüge typische Vorgehensweisen zur Beurteilung von Risiken erläutert.

#### 7.3.1.1. Risiko für Personen aufgrund eines Brandes

Das Risiko für Personen (*Persons*) in einem brennenden Gebäude basiert auf der glaubwürdigsten Schadensklasse der Brandstärke  $EF.OID^T\#$

---

<sup>5</sup>Undefiniert ist eine Zelle dann, wenn zwischen Gefahrentyp und betroffener Instanz kein Risiko existieren kann.

<sup>6</sup>Konkret sind die Risikoklassen als 1 = *high*, 2 = *medium*, 3 = *low*, 4 = *unknown*, 5 = *none* und 6 = *undefined* festgelegt.

*FeuerstärkeSchadensklasse* und der Gefahrenklasse für Personen *E.Umw.Geb.*  $\$OID^T\$.\$AID^T\#\$PersonsGefahrenklasse^I$ . Die Zusammenhänge lassen sich in verkürzter Form anhand der Tabelle 7.3 beschreiben. Ihr Inhalt ist in der Regel *R.Umw.Geb#\\$RisikobewertungPersons!Fire* $\{OID^T, AID^T, EF^{L(*)}\}^{L(*)}$  enthalten. Bei dem folgenden Auszug ist exemplarisch nur die Brandstärke *lowburning* in vollständiger Notation dargestellt. Die Regel liefert neben der Risikobewertung natürlichsprachliche Textbausteine zu ihrer Erläuterung. Deren Inhalt ist in den Terme *P.Umw.Geb.\\$AID^T\#\\$Persons!FireHinweis* $\star^T$  festgelegt.

---

**Regeln 7.3** *R.Umw.Geb#\\$RisikobewertungPersons!Fire*

---

```

R.Umw.Geb#\$RisikobewertungPersons!FireR $\{OID^T, AID^T, EF^{L(*)}\}^{L(*)}$ 
Default $\{Persons!FireRisiko^I = 5; Persons!FireHinweis^T = leer\}$ 
#Brandstärke ist lowburning
Wenn( $EF.\$OID^T\#\$FeuerstärkeSchadensklasse^I = 1$ )
Dann[
  Wenn( $E.Umw.Geb.\$OID^T\#\$AID^T\#\$PersonsGefahrenklasse^I = 1$ )
  Dann $[Persons!FireRisiko^I = 3;$ 
     $Persons!FireHinweis^T = P.Umw.Geb.\$AID^T\#\$Persons!FireHinweisLow1^T]$ 
  Wenn( $(E.Umw.Geb.\$OID^T\#\$AID^T\#\$PersonsGefahrenklasse^I > 1)\&$ 
     $(E.Umw.Geb.\$OID^T\#\$AID^T\#\$PersonsGefahrenklasse^I < 4)$ )
  Dann $[Persons!FireRisiko^I = 2;$ 
     $Persons!FireHinweis^T = P.Umw.Geb.\$AID^T\#\$Persons!FireHinweisLow2^T]$ 
  Wenn( $E.Umw.Geb.\$OID^T\#\$AID^T\#\$PersonsGefahrenklasse^I = 4$ )
  Dann $[Persons!FireRisiko^I = 4;$ 
     $Persons!FireHinweis^T = P.Umw.Geb.\$AID^T\#\$Persons!FireHinweisLow3^T]$ 
]
#Brandstärke ist moderatly burning
...

```

		Gefahrenklassen für Personen				
		none(5)	unknown(4)	low(3)	medium(2)	high(1)
Brandstärke	not burnig(0)	none	none	none	none	none
	low burning(1)	none	unknown	low	low	medium
	moderately b.(2)	none	low	low	medium	high
	high burning(3)	none	low	medium	high	high

**Tabelle 7.3.:** Personenrisiko aufgrund eines Brandes

...

$Ergebnis\{SetReg : E.Umw.Geb.OID^T$.AID^T\#Persons!Fire^I = Persons!FireRisiko^I;$   
 $SetReg : E.Umw.Geb.OID^T$.AID^T\#Persons!FireHinweis^T = Persons!FireHinweis^T;$   
 $SetReg : E.Umw.Geb.OID^T$.AID^T\#Persons!FireGlaubwürdigkeit^F = EF.OID^T\#$   
 $FeuerschadenGlaubwürdigkeit^F;$   
 $SetReg : E.Umw.Geb.OID^T$.AID^T\#Persons!FireAbgeleitet^B = EF.OID^T\#$   
 $FeuerschadenAbgeleitet^B\}$

---

### 7.3.1.2. Risiko für Einsatzkräfte durch atomare Strahlung

Unabhängig von der verfügbaren Ausstattung der Einsatzkräfte, stellt ein Gebiet mit radioaktiver Verseuchung ein hohes Risiko dar. Dem Grundsatz aus dem Zivilschutz „Eigenschutz geht vor Fremdschutz“ folgend ist für Kräfte ohne Spezialausrüstung der Aufenthalt auf jeden Fall zu vermeiden. Entsprechend führt eine radioaktive Gefährdung, unabhängig davon, ob durch feste, flüssige oder gasförmige Substanzen, immer zu einem hohen Risiko für ungeschützte Einsatzkräfte. Die Ausrüstung von Spezialkräften verringert das Risiko. Ob und wie viele Einsatzkräfte mit einer vorgegebenen Fähigkeit in einem Gebäude anwesend sind, bestimmt Algorithmus 7.8.

---

#### Algorithmus 7.8 Prüfe Fähigkeit von Einsatzkräften

---

**Eingabe:** Sei  $OID^T$  die Id eines Gebäudes im Einsatzgebiet und  $AN^T$  die zu untersuchende Fähigkeit von Ressourcen.

**Ergebnis:** Die Liste mit der beim Gebäude anwesenden Ressourcen  $Ext.Umw.Geb.OID^T$.AN^T$$  mit der Fähigkeit  $AN^T$ .

#### Vorbereitung - Erstelle Listen

Erstelle eine leere Liste  $Ext.Umw.Geb.OID^T$.AN^T$$ .

#### Auswertung - Bestimme Ressourcen

Für alle Elemente in  $Ext.Einsatzstellen\#Umw.Geb.OID^T$$ :

1. Nimm das nächste Element  $RNext$  mit der Ressourcenklasse  $CLASS^T_{RNext}$  und der Id  $RID^T_{RNext}$ .
2. Wenn  $\%EXIST\{A.Res.Mob.CLASS^T$.RID^T$.Primär^{L(T)}, AN^T\}^B$  oder  $\%EXIST\{A.Res.Mob.CLASS^T$.RID^T$.Sekundär^{L(T)}, AN^T\}^B$ :  
Füge  $RNext$  der Liste  $Ext.Umw.Geb.OID^T$.AN^T$$  hinzu.

---

Die Bewertung des Risikos für Einsatzkräfte durch Strahlung erfolgt in der Regel  $R.Umw.Gebäude\#RisikobewertungPersonnel!Radiation^R\{OID^T, AID^T, EF^{L(*)}\}^{L(*)}$  (siehe Unterabschnitt A.6.6). Vor ihrer Auswertung wird geprüft, ob

und wie viele Ressourcen mit Schutzausrüstung dem Gebäude zugeordnet sind. Dazu wird Algorithmus 7.8 für das zu untersuchende Gebäude mit  $OID^T$  bezüglich der Fähigkeit  $AN^T = Strahlenschutz$  aufgerufen. Liegen mehrere Quellen für eine Gefährdung durch Strahlung vor, wird bei der Beurteilung die mit dem höchsten Potenzial berücksichtigt. Die Risikobewertung unterscheidet zwischen drei Fällen. Sind nur Einsatzkräfte mit Schutzausrüstung vor Ort, ist das Risiko abhängig von der Stärke der Strahlungsquelle. Sind nur Kräfte ohne Schutzausrüstung anwesend, ist deren Risiko in jedem Fall sehr hoch. Sind Einheiten mit sowie ohne Schutz vor Ort, ist eine eindeutige Festlegung nicht möglich und die Risikobewertung ist *unknown*. Ratschläge und Erläuterungen in natürlichsprachlicher Form finden sich in den Termen  $P.Umw.Geb.\$AID^T\$ \# Personnel! RadiationHinweise^{\star T}$ .

### 7.3.1.3. Risiken aufgrund der Ausbreitung eines Brandes

Von einer Brandausbreitung sind alle in der Risikomatrix betrachteten Instanzen potenziell betroffen. Nicht alle sind aber während eines Katastropheneinsatzes gleich relevant. In der Arbeit wird die Risikobeurteilung bei Personen (*Persons*), Einsatzkräften (*Personnel*) und ihrer Ausrüstung (*Equipment*) sowie Besitztümern (*Assets*) in den Regeln  $R.Umw.Geb\#RisikobewertungPersonnel \setminus Equipment \setminus Assets!FirePropagation^R \{OID^T, AID^T, EF^{L(\star)}\}^{L(\star)}$  berücksichtigt. Die Beurteilung der Auswirkungen einer Brandausbreitung berücksichtigt die Attribute des brennenden Gebäudes und seiner Nachbarn. Zur Bestimmung des Risikos wird die Gefahrenbeurteilung der Ausbreitung kombiniert mit dem Umfang des dabei zu erwartenden Schadens.

Als Parameter für die Risikobeurteilung dienen der mögliche Personenschaden  $E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\$ \# PersonsGefahrenklasse^I$  und die Klassifikation des Schadensumfangs von Besitztümern  $E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\$ \# AssetGefahrenklasse^I$ . Die Gefahr für die Ausbreitung wird durch eine Simulation ermittelt (vgl. Unterunterabschnitt 7.2.1.3). Die Gefahrenbeurteilung für die umstehenden Gebäude aus  $E.Umw.Geb.\$OID_{Brennt}^T\$.\$AID^T\$ \# FeuerAusbreitung^{L(I)}$  fließt genauso in Algorithmus 7.9 ein wie das Ergebnis der Regel  $R.Umw.Geb\#RisikobewertungVar!FirePropagation^R \{OID_{Brennt}^T, OID_{Risiko}^T, Instanz, AID^T, EF^{L(\star)}\}^{L(\star)}$  (siehe Unterabschnitt A.6.6), die das von einem brennenden Gebäude ausgehende Risiko bezüglich einer gegebenen Instanz der Risikomatrix für *Persons*, *Personnel*, *Equipment* und *Assets* beurteilt. Dazu kommt die Beurteilung der Schäden bei Einsatzkräften und ihrer Ausrüstung in  $E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\$ \# Personnel \setminus EquipmentGefahrenklasse^I$ . Diese ist abhängig von der Ressourcenklasse der Einheit. Für Einheiten der Feuerwehr wird der potenzielle Schadensumfang als gering (*Low*) eingestuft, da sie entsprechend ausgebildet und ausgerüstet sind. Für andere Ressourcenklassen stellt ein Feuer ein mittleres (*Medium*) Gefahrenpotenzial dar.

---

**Algorithmus 7.9** Brandausbreitungsrisiko

---

**Eingabe:** Sei  $OID_{Brennt}^T$  die Id eines brennenden Gebäudes im Einsatzgebiet.

**Ergebnis:** Die Schlüssel-Wert-Listen  $E.Umw.Geb.OID_{Brennt}^T$.AID^T\$\# \$Instanz!\$FirePropagation^{L(I)}$ . Als Bezeichner für  $\$Instanz\$\$$  werden *Persons*, *Personnel*, *Equipment* und *Assets* berücksichtigt. Schlüssel der Listen ist die *OID* eines Nachbargebäudes. Der Wert ist die Risikobeurteilung der in  $\$Instanz\$\$$  gegebenen Instanz in der Risikomatrix. Beurteilt werden alle Nachbargebäude.

Die Anzahl der betroffenen Nachbargebäude in jeder Risikoklasse  $E.Umw.Geb.OID_{Brennt}^T$.AID^T\$\# \$Instanz!\$FirePropagation \oplus Low \setminus Med \setminus High^I$  sowie deren Fläche  $E.Umw.Geb.OID_{Brennt}^T$.AID^T\$\# \$Instanz!\$FirePropagationFläche \oplus Low \setminus Med \setminus High^I$ .

Die maximale Risikobeurteilung aller Nachbargebäude  $E.Umw.Geb.OID_{Brennt}^T$.AID^T\$\# \$Instanz!\$FirePropagationMax^I$  sowie erläuternde Hinweise unter  $E.Umw.Geb.OID_{Brennt}^T$.AID^T\$\# \$Instanz!\$FirePropagationMaxHinweis^T$ .

**Vorbereitung - Erstelle Listen**

Für die vier betrachteten Instanzen *Persons*, *Personnel*, *Equipment* und *Assets* erstelle die Schlüssel-Wert-Paare:

$E.Umw.Geb.OID_{Brennt}^T$.AID^T\$\# \$Instanz!\$FirePropagation^{L(I)}$  ;  
 $E.Umw.Geb.OID_{Brennt}^T$.AID^T\$\# \$Instanz!\$FirePropagationMax^I = 5$  (vordefiniert mit dem Risiko *none*);  
 $E.Umw.Geb.OID_{Brennt}^T$.AID^T\$\# \$Instanz!\$FirePropagationMaxHinweis^T = leer$   
sowie  $E.Umw.Geb.OID_{Brennt}^T$.AID^T\$\# \$Instanz!\$FirePropagation \oplus Low \setminus Med \setminus High^I = 0$ .

**Auswertung - Bestimme Risiken**

Für jede Instanz *Persons*, *Personnel*, *Equipment* und *Assets* als Wert der Variable  $\$Instanz\$\$$ :

1. Setze die Auswertungsterme  $E.Umw.Geb.OID_{Brennt}^T$.AID^T\$\# \$Instanz!\$FirePropagationGlaubwürdigkeit^F = E.Umw.Geb.OID_{Brennt}^T$.AID^T\$\# FeuerAusbreitungGlaubwürdigkeit^F$  .
2. Für jedes Element  $OID^T\$\$$  in  $E.Umw.Geb.OID_{Brennt}^T$.AID^T\$\# FeuerAusbreitung^{L(I)}$ :
  - a) Bestimme die Risikobeurteilung  
 $Regel^{L(*)} = R.Umw.Geb\#RisikobewertungVar!\$FirePropagation^R$   
 $\{OID_{Brennt}^T, OID^T, Instanz, AID^T, EF^{L(*)}\}^{L(*)}$ . Setze  
 $Risiko^I = Regel\#\$Instanz!\$FirePropagationRisiko^I$  und  
 $Hinweis^T = Regel\#\$Instanz!\$FirePropagationHinweis^T$ .
  - b) Erzeuge ein neues Element in  
 $E.Umw.Geb.OID_{Brennt}^T$.AID^T\$\# \$Instanz!\$FirePropagation^{L(I)}$  mit dem Schlüssel  $OID^T\$\$$  und dem Wert  $Risiko^I$ .

- c) Wenn  $Risiko^I < E.Umw.Geb.OID_{Brennt}^T \$.AID^T \#\#$   
 $\$Instanz!\$FirePropagationMax^I$ :  
 Setze  $E.Umw.Geb.OID_{Brennt}^T \$.AID^T \#\#Instanz!$   
 $FirePropagationMax^I = Risiko^I$  und  $E.Umw.Geb.OID_{Brennt}^T \$.AID^T \#\#$   
 $Instanz!\$FirePropagationMaxHinweis^T = Hinweis^T$ .
- d) Wenn  $Risiko^I$  gleich 3  $\Rightarrow Low$ , 2  $\Rightarrow Medium$  oder 1  $\Rightarrow High$  ist:  
 Setze die Zähler von  $E.Umw.Geb.OID_{Brennt}^T \$.AID^T \#\#Instanz!$   
 $FirePropagation \oplus Low \setminus Med \setminus High^I$  um eins nach oben und addiere die  
 Fläche des Gebäudes  
 $A.Umw.Geb.OID_{Risiko}^T \#\#Stockwerke^I * A.Umw.Geb.OID_{Risiko}^T \#\#Fläche^I$   
 zu  $E.Umw.Geb.OID_{Brennt}^T \$.AID^T \#\#Instanz!$   
 $FirePropagationFläche \oplus Low \setminus Med \setminus High^I$  hinzu.

### 7.3.1.4. Risiko für Personen aufgrund eines Gebäudeeinsturzes

Das Risiko der Instanz Personen (*Persons*) aufgrund eines Gebäudeeinsturzes (*Collapse*) bestimmt die Regel  $R.Umw.Gebäude\#RisikobewertungPersons!Collapse^R\{OID^T, AID^T, EF^{L(*)}\}^{L(*)}$ . Sie berücksichtigt nur die strukturellen Schadensklassen, bei denen ein Einsturz des Gebäudes vorliegt (*DS4a* bis *DS5*). Neben dem Schaden fließt die Anzahl der potenziell verschütteten Personen ein (vgl. Unterunterabschnitt 6.3.2.2). Das allgemeine Personenrisiko  $E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \#\#PersonsGefahrenklasse^I$  wird in diese Beurteilung nicht mit einbezogen. Die Regel unterscheidet sich von den bisher vorgestellten dadurch, dass die Glaubwürdigkeiten spezifischer Schadensklassen ausschlaggebend für das Risiko sind und nicht die glaubwürdigste Klasse bezüglich eines Gefahrentyps. Zur Bestimmung bedient sich  $R.Umw.Geb\#RisikobewertungPersons!Collapse^R\{OID^T, AID^T, EF^{L(*)}\}^{L(*)}$  der Ergebnisse aus drei weiteren Regeln (siehe Unterabschnitt A.6.6).

Die Regel  $R.Umw.Geb\#EinsturzschadenGlaubwürdigster^R\{OID^T\}^{L(*)}$  ermittelt die glaubwürdigste Meldung bezüglich eines strukturellen Schadens in den Klassen *DS4a* bis *DS5* für das betrachtete Gebäude. Liegt für diese Klassen nichts vor, wird das Gebäude als Risikoquelle für Personen aufgrund eines Einsturzes ausgeschlossen. Die Glaubwürdigkeit eines Schadens klassifiziert  $R.Umw\#KlassifiziereGlaubwürdigkeit^R\{Reliability^F\}^{L(*)}$ . Der Wert der Glaubwürdigkeit wird im Attribut  $Glaubwürdigkeit^F$  ( $x \in \mathbb{R}$  mit  $0 \leq x \leq 100$ ) (siehe Unterunterabschnitt 5.4.3.3) übergeben. Die Klassifikation erfolgt analog zu den Gefahrenklassen in *high* (Wert = 1) bis *none* (Wert = 5). Zusätzlich wird geprüft, ob die Quelle der Fakten eine Simulation ist oder sie auf reale Meldungen zurückgehen. Basierend auf der in  $R.Umw.Geb\#EinsturzschadenGlaubwürdigster^R\{OID^T\}^{L(*)}$  ermittelten Schadensklasse schätzt die eingebettete externe Funktion  $C.Umw.Geb.Bestimme\#Verschüttete^R\{OID^T, Schadensklasse^I\}^I$  die Anzahl der vom Einsturz betroffenen Personen ab. Die unterschiedlichen Informationen führt  $R.Umw.Geb\#$

Risikobewertung  $Persons!Collapse^R\{OID^T, AID^T, EFL^{(*)}\}^{L^{(*)}}$  zu der Risikobeurteilung  $E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\#\$Persons!Collapse^I$  zusammen.

### 7.3.2. Abhängigkeiten von Gefahren

Neben dem direkten Risiko, das von einer Gefahr für eine Instanz ausgeht, werden auch ihre indirekten Auswirkungen betrachtet. Die potenziellen Wechselwirkungen stellt Abbildung 7.1 dar. Darauf basierend beurteilen Regeln die indirekten Auswirkungen jeder Gefahrenquelle. Ihr direkter Einfluss auf die Risikobewertung durch den Agenten ist gering. Sie führen keine Bewertungen durch, sondern setzen maximal das Risiko auf unbekannt (*unknown*). Der menschliche Entscheidungsträger soll dadurch und anhand von textuellen Hinweisen in Tooltips auf mögliche indirekte Auswirkungen aufmerksam gemacht werden, um sie bei seiner Beurteilung der Fakten zu berücksichtigen. Hintergrund ist, dass Folgerisiken ansonsten in der unübersichtlichen Situation einer Großschadenslage leicht übersehen werden können.

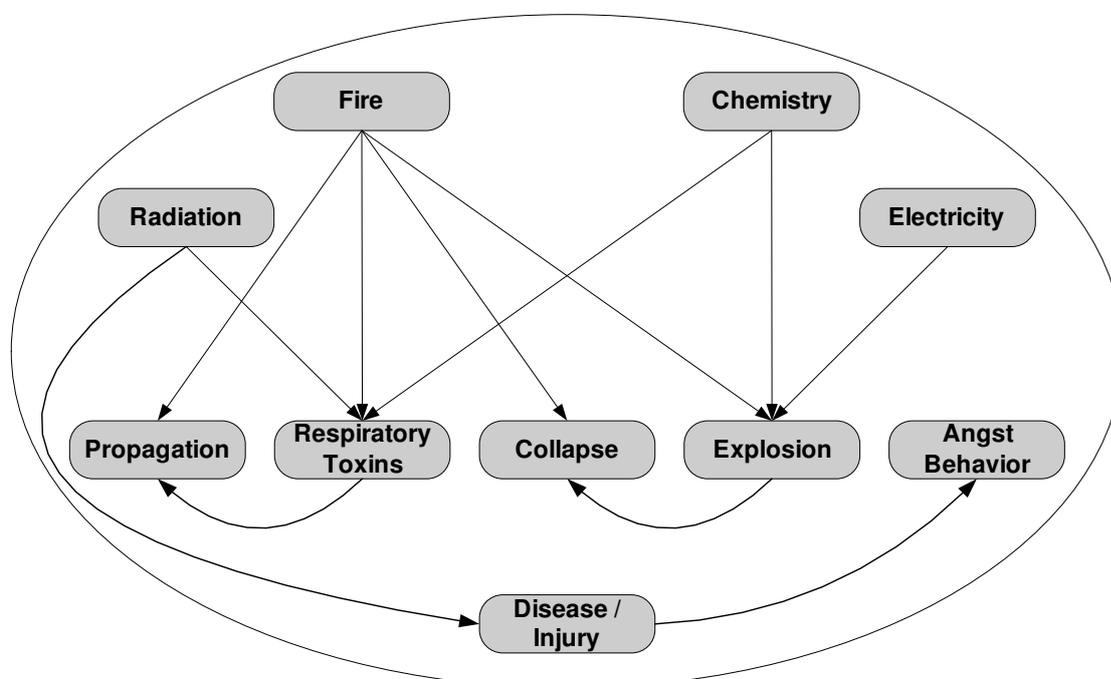


Abbildung 7.1.: Zusammenhänge zwischen Gefahrentypen

Ein Pfeil in Abbildung 7.1 zeigt an, dass von dem ausgehenden Gefahrentyp ein direkter Bezug zu dem eingehenden Typ besteht. Die Auswirkung der Beziehung ist schwer zu quantifizieren und abhängig von mehreren Fakten und Attributen. Entsprechend umfangreich sind die sie beschreibenden Regeln. Ihre Darstellung würde den Rahmen der Arbeit sprengen, allerdings sind sie sich im Aufbau sehr ähnlich. Daher werden anhand von  $R.Umw.Geb.\#GefahrenübergangFire$  (siehe in Unterabschnitt A.6.6 die Erläuterung Gefahrenübergang durch Brände), der Regel

zur Beurteilung der Folgerisiken eines Feuers, beispielhaft die typischen Zusammenhänge und Vorgehensweisen erläutert.

Die Beurteilung in  $R.Umw.Geb\#GefahrenübergangFire\{OID^T, AID^T, EF^{L(*)}\}^{L(*)}$  bewertet das Ausbreitungsrisikos auf umstehende Gebäude, beschrieben in Unterunterabschnitt 7.3.1.3. Nur aktive Feuer werden als Quellen für Folgerisiken berücksichtigt. Paarungen aus Gefahrenquelle und Instanz, für die bereits ein Risiko erfasst ist, sind ebenfalls ausgeschlossen. Ob ein signifikantes Risiko vorliegt, dass ein Feuer weitere Gefahren nach sich zieht, hängt von den vorliegenden Gegebenheiten des Gebäudes sowie der Feuerstärke ab. So ist z. B. eine Explosionsgefahr abhängig davon, ob sich explosive Stoffe im Gebäude befinden und wie umfangreich die Schutzmaßnahmen gegen ihre explosive Entzündung sind. Je stärker ein Feuer, desto bessere Schutzmaßnahmen sind nötig, um das Explosionsrisiko zu mindern. Ist ein mögliches Risiko identifiziert, wird ein entsprechender Hinweis erzeugt und überprüft, welche Instanzen von dem Folgerisiko potenziell betroffen sind. Diese Prüfung berücksichtigt auch weitere Fakten. Sind z. B. keine Personen im Gebäude, existiert für diese Instanz auch kein Risiko (siehe Unterabschnitt A.6.6). Ergebnis der Regeln zur Beurteilung der Wechselwirkungen ist, dass die entsprechenden Zellen in der Risikomatrix die Bewertung unbekannt (*unknown*) und einen erläuternden Hilfetext erhalten. Falls verfügbar, sind in diesem Text weitere Details hinterlegt, wie die Anzahl der potentiell betroffenen Personen. Auch sind Informationen enthalten, ob die zugrunde liegende Faktenquelle abgeleitet ist und wie ihre Glaubwürdig eingeschätzt wird. Der in Unterabschnitt A.6.6 dargestellte Ausschnitt von  $R.Umw.Geb\#GefahrenübergangFire\{OID^T, AID^T, EF^{L(*)}\}^{L(*)}$  beurteilt die Auswirkung einer Feuerausbreitung auf die Risiken durch Explosion und Atemgifte sowie ihre Folgen auf die strukturelle Integrität bereits vorgeschädigter Gebäude.

Jede in Abbildung 7.1 dargestellte Abhängigkeit zwischen Gefahrentypen ist in einer separaten Regel modelliert, wobei nur Risikoquellen, die auf real bestätigten Fakten beruhen, zu Folgerisiken führen können. Ein Folgerisiko kann daher zu keinem weiteren Folgerisiko führen.

### 7.3.3. Darstellung der Risikobewertung

Die Ergebnisse der Bewertungen von direkten und indirekten Risiken eines Gebäudes mit  $OID^T$  sind in den Termen  $E.Umw.Geb.\$OID^T\$. \$AID^T\$\# \$BetroffeneInstanz\!\$Gefahrenquelle\$\star$  abgelegt. Da die  $AID^T$  einen eindeutigen Bezeichner für jeden Agenten und menschlichen Nutzer darstellt, kann zwischen den Beurteilungen eines ADVISOR-Agenten und denen des menschlichen Entscheidungsträgers unterschieden werden.

Die Darstellung der Risikomatrix erfolgt in einem Fenster zusammen mit weiteren Detailinformationen zu dem jeweiligen Gebäude (siehe Abbildung 6.9). Bei allen Zellen der Matrix, die ein Risiko ausweisen, öffnet sich beim Darüberfahren mit dem Mauszeiger ein Tooltip, der mit *Agent* oder *User* gekennzeichnet ist. Er

weist darauf hin, ob die Risikobewertung durch einen ADVISOR-Agenten vorgeschlagen oder durch den Anwender eingetragen wurde. Wird die Zelle angewählt werden weitere Details eingeblendet, wie Texthinweise aus den Regeln zur Risikobewertung. Um dem Entscheider einen Eindruck von der Qualität der Bewertung zu geben, werden die zugrunde liegende Quelle und ihre vom Agenten beurteilte Glaubwürdigkeit angezeigt. Der Zahlenwert der Glaubwürdigkeit wird dazu in eine textuelle Beschreibung überführt. Abhängig vom Zahlenwert wird zwischen *certain*, *high confidence*, *medium confidence*, *low confidence* und *unlikely* unterschieden (siehe Unterunterabschnitt 5.4.3.4).

Die Darstellung der agenteninternen Bewertung der Risiken ist ein wichtiges Instrument zur Interaktion zwischen Anwender und Softwareagent. Sie erfolgt in Form von Tooltips, die zusätzlich Erläuterungen und Hinweise enthalten. Sie sind der Einstieg in die kooperative Erarbeitung eines Lagebildes der Risiken im Einsatzgebiet. Der menschliche Entscheider soll seine Risikobewertung auf Grundlage des eigenen Lagebildes zusammen mit der Unterstützung durch die Hinweise des Agenten entwickeln. Dieses gemeinsame Bild dokumentieren die Zellen der Risikomatrix. Stimmen die vorhandenen Vorgaben des Agenten mit der Einschätzung des Anwenders überein, kann er diese auch direkt übernehmen. Der neue Eintrag wird mit der  $AID^T$  des Anwenders unter  $E.Umw.Geb.$OID^T$. $AID^T$# $BetroffeneInstanz$!$Gefahrenquelle$<sup>I</sup> abgelegt. Die Faktenbasis dokumentiert somit sowohl die Bewertungen der ADVISOR-Agenten als auch die des menschlichen Nutzers, unabhängig davon, ob sie gleich sind. In der Darstellung und bei den Entscheidungsprozessen sind die von Menschen eingegebenen Bewertungen führend. Um leichter auf sie zugreifen zu können, referenziert  $E.Umw.Geb.$OID^T$# $BetroffeneInstanz$!$Gefahrenquelle$<sup>I</sup> immer die aktuell führende Bewertung.$$

## 7.4. Entscheidungsfindung auf Basis des Lagebildes

Die in den vorherigen Abschnitten gesammelten Informationen ergeben in Summe das Lagebild eines ADVISOR-Agenten zum Einsatzgebiet, auf dessen Basis er Entscheidungshilfen für die Ressourcenzuordnung bereitstellt. In einem Katastropheneinsatz gilt es, unter Ressourcenknappheit die richtige Zusammensetzung von Einheiten für die wichtigen/richtigen Gefahrenbereiche zu finden. Hierbei muss eine Priorisierung erfolgen. Diese erfolgt in zwei Phasen: (1) Bewertung der Priorität der verschiedenen Gefahrenbereiche im Einsatzgebiet; (2) Zusammenstellung von Ressourcen zur Bewältigung der Gefahren an einer gewählten Einsatzstelle. Neben der Bestimmung der Prioritäten bieten die Agenten Hinweise, die ihre Beurteilungen erläutern und auf Besonderheiten der Einsatzstelle aufmerksam machen. In jeder Phase trifft immer nur der menschliche Anwender die Entscheidung. Für die Unterstützung der Problemstellungen bei Feuern, Gebäudeeinstürzen und Verletzten sind spezielle ADVISOR-Agenten zuständig. Diese Aufteilung geht davon aus, dass für die notwendigen Ressourcentypen immer unterschiedliche Spezialisten verant-

wortlich sind. Daher erfolgt auch die Zuordnung der für die jeweiligen Gefahren nötigen Ressourcen voneinander unabhängig. Ist eine Person für mehrere Arten von Gefahren gleichzeitig verantwortlich, muss sie die Zuordnungen für die einzelnen Problemstellungen getrennt bearbeiten. Treten an einer Einsatzstelle zwei oder mehr unterschiedliche Gefahrentypen auf, können dort Ressourcen von mehreren verschiedenen Entscheidungsträgern und damit auch unterschiedlichen ADVISOR-Agenten nötig sein. Die Detailansicht des Umweltobjektes zeigt den Anwendern die eigenen und auch alle von anderen verantworteten Ressourcen, die einer Einsatzstelle zugeordnet sind, an. Diese Übersicht soll ermöglichen, dass zugeordnete Einheiten aus unterschiedlichen Ressourcenklassen sich möglichst ergänzen oder zumindest nicht behindern. Sicherstellen müssen dies die menschlichen Anwender. Außer den Empfehlungen, externe Hilfeleistungen anzufordern, bieten die ADVISOR-Agenten keine Unterstützung.

Die verschiedenen Hilfestellungen der Agenten werden meist in Form sortierter Listen dargestellt. Die Ordnung repräsentiert die Priorität oder die Wichtigkeit der empfohlenen Maßnahme bzw. des genannten Objektes. Die im Weiteren dargestellten Regeln definieren daher Kriterien, um eine Ordnung auf einer Liste z. B. von beschädigten Gebäuden bzw. verfügbaren Ressourcen zu definieren.<sup>7</sup>

### 7.4.1. Priorisierung der Gefahrenbereiche

Ausgangspunkt für die Priorisierung von Gebäuden sind die dort vermuteten Gefahren, die sich aus Schadensmeldungen aus unterschiedlich glaubwürdigen Beobachtungen aus *Ext.AktiveSchäden* oder den Ergebnissen von Prognosemodellen, abgelegt in *Ext.ProgSchäden*, ergeben. Die Priorisierung der ADVISOR-Agenten erfolgt nur für Gebäude bei denen Gefahren oder Schadensarten vorliegen, die durch die Ressourcen des jeweiligen Anwenders beseitigt werden können. Als Kriterium für die Auswahl dienen die verfügbaren Fakten zu Schäden  $F.Umw.\$TYP^T\$.\$OID^T\$ \# \$Schadensart\$ \$Schadensklasse\$ \oplus Glaubwürdigkeit^F$ . Ebenfalls nicht berücksichtigt werden Gebäude, deren Ressourcenzuordnung abgeschlossen ist ( $E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\$ \# ZuordnungBeendet^B = Wahr$ ). Aufgrund von Regeln aus der Wissensbasis erfolgt eine Bewertung, wie wichtig das Bearbeiten eines Gefahrenbereiches ist. Dies legt eine Ordnung zur Priorisierung der Gebäude fest. Sie hat keinen Einfluss darauf, wie viele und welche Ressourcen dem Gebäude zugeordnet werden. Auch Risiken für Einsatzkräfte werden in diesem Schritt ignoriert. Für ein Gebäude mit hoher Priorität kann daher die Regelbewertung zur Ressourcenzuordnung in Unterabschnitt 7.4.2 auch empfehlen, keine Ressourcen zu entsenden.

Für die Priorisierung sind Fakten zu den betrachteten Schadensarten und den sich daraus ergebenden Risiken ausschlaggebend. Bei einer realen Meldung als Quelle der Fakten ist das Gebäude in *Ext.AktiveSchäden* <sup>$\$Schadensart\$$</sup>  gelistet. Ist eine

<sup>7</sup>Bei der Implementierung wurde mit `Collections.sort(liste)` eine in Java vorhandene Methode zum Sortieren der Listen genutzt.

Prognose die Grundlage, ist das Gebäude in  $Ext.ProgSchäden^{Schadensart}$  abgelegt. Beide Listen sortieren Regeln der jeweiligen ADVISOR-Agenten nach ihrer Bearbeitungspriorität. Den Abschluss der jeweiligen Liste bilden Gefahrenbereiche, die bei der Ressourcenzuordnung durch den Anwender zurückgestellt wurden ( $E.Umw.Geb.OID^T.AID^T.ZuordnungZurückgestellt^I \neq 0$ ). Prognostizierte Schäden als Quelle erhalten eine niedrigere Priorität als real gemeldete. Die Gesamtliste aller Gebäude  $Ext.Schäden^{Schadensart}$  ergibt sich daher durch das Anfügen der sortierten Liste  $Ext.ProgSchäden^{Schadensart}$  an  $Ext.AktiveSchäden^{Schadensart}$ . Sie wird statt der Übersicht aller Gefahrenbereiche angezeigt, wenn der Anwender über die Auswahl des Feldes „Show Operations Areas“ im MIS zum Reiter mit der Entscheidungsunterstützung wechselt.

#### 7.4.1.1. Einstürzte Gebäude

In den ersten Stunden der Katastrophenbewältigung sind strukturell beschädigte Gebäude vor allem dann relevant, wenn sie ganz oder zum Teil eingestürzt sind und in den Trümmern verletzte oder verschüttete Personen vermutet werden. Im Weiteren wird das Vorgehen der Regel  $R.Umw.Geb.StrukturschadenPriorität\{OID_i^T, AID^T, EF^{L(*)}, MaxVersch^I, MaxVol^F\}^{L(*)}$  erläutert, die Gebäude im Hinblick auf notwendige Such- und Rettungsarbeiten priorisiert. Für Planung von Transport und medizinischer Behandlung der dabei geretteten Personen ist ein weiterer ADVISOR-Agent zuständig (vgl. Unterunterabschnitt 7.4.1.3). Analog zum Vorgehen bei Verletzten ist die Bezeichnung für die Schadensbeurteilung zur Priorisierung von Gebäuden Gebäudetriage. Für ihre Bewertung sind die Anzahl der verschütteten Personen und der Aufwand ihrer Bergung relevant (vgl. [FEM03]).

Bei den *Verschütteten* gehen deren Anzahl sowie ihre Überlebenschancen in die Priorisierung ein. Die Anzahl wird anhand des Terms  $F.Umw.Geb.OID^T.PersonenschadenVerschütteteAnzahl^I$  ermittelt, wobei dessen Glaubwürdigkeit berücksichtigt wird. Da im seltensten Fall eine Meldung existiert, die eine genaue Anzahl benennt, müssen meist abgeleitete Werte genutzt werden. Liegt eine Meldung mit genauen Zahlen vor, wird diese gesondert berücksichtigt. Neben den Verschütteten beeinflusst der Verwendungszweck eines Gebäudes seine Priorität. Solche zur medizinischen Versorgung und Bildungseinrichtungen erhalten eine höhere Bewertung.

Der *Aufwand* sowie die Zeit, bis verschüttete Personen gefunden und geborgen werden, ist abhängig von dem Werkstoff eines Gebäudes sowie dem Volumen seines Trümmerfeldes. Eine Abschätzung des Volumens erfolgt anhand der Regel  $C.Umw.Geb.Einsturzvolumen^C\{OID^T, S^I\}^F$  (siehe Unterabschnitt 6.2.5). Genauere Daten kann die Auswertung eines Überflugs mit Laserscannern [Reh07] oder eine visuelle Inspektion durch Erkundungskräfte [SM08] liefern. Der glaubwürdigste Wert wird im Term  $F.Umw.Geb.OID^T.StrukturschadenVolumen^F$  abgelegt.

Aus den Listen der beschädigten Gebäude  $Ext.AktiveSchäden$  und  $Ext.ProgSchäden$  werden nur die mit strukturellen Schäden in  $Ext.AktiveSchäden^{Strukturschaden}$  und  $Ext.ProgSchäden^{Strukturschaden}$  übernommen. Als Kriterium dient der glaubwürdigste Fakt bezüglich eines strukturellen Schadens, der mindestens in der Klasse  $DS4a$  oder darüber liegt. Bei weniger stark beschädigten Gebäuden wird von keinem signifikanten Risiko für Verschüttete ausgegangen. Die Prüfung, ob eine Zuordnung von SAR-Einheiten nötig ist, ergibt zugleich Kennwerte für die Priorisierung von Gebäuden. Die maximale Anzahl an Verschütteten ist in  $E.Umw.Geb.\$AID^T\$\#MaxVerschütteteReal \setminus Prog^I$  abgelegt. Die Terme  $E.Umw.Geb.\$AID^T\$\#MaxVolumenReal \setminus Prog^F$  enthalten das maximale Volumen eines eingestürzten Gebäudes. Ihre Werte bestimmen sich aus den Maximalwerten der Terme  $F.Umw.Geb.\$OID^T\$\#PersonenschadenVerschütteteAnzahl^I$  bzw.  $C.Umw.Geb\#Einsturzfläche^C\{OID^T, StrSchKl\}^F$  aller Gebäude aus  $Ext.AktiveSchäden^{Strukturschaden}$  und  $Ext.ProgSchäden^{Strukturschaden}$ . Aus beiden Listen werden somit vier Maxima ermittelt.

Auf Grundlage dieser Daten ermittelt die Regel  $R.Umw.Geb\#StrukturschadenPriorität$  einen Prioritätswert für betroffene Gebäude. Der Wert definiert die Ordnung auf den in aufsteigender Reihenfolge sortierten Listen  $Ext.AktiveSchäden^{Strukturschaden}$  und  $Ext.ProgSchäden^{Strukturschaden}$ . Gleichzeitig liefert die Regel natürlichsprachliche Begründungen für die Beurteilungen.

---

#### Regeln 7.4 R.Umw.Geb#StrukturschadePriorität

---


$$R.Umw.Geb\#StrukturschadenPriorität^R\{OID_i^T, AID^T, EF^{L(*)}, MaxVersch^I, MaxVol^F\}^{L(*)}$$

Default{Hinweis<sup>T</sup> = leer; Prioritätszahl<sup>F</sup> = 0; Verschüttete<sup>I</sup> =  
 $F.Umw.Geb.\$OID^T\$\#PersonenschadenVerschütteteAnzahl^I$ ;  
 $Volumen^F = R.Umw.Geb\#$   
 $StrukturschadenVolumen^{R\{OID_i^T, EF^{L(*)}\}\#Volumen^F}$   
 $VerschütteteProM3^F = Verschüttete^I / Volumen^F$ ;  
 $RisikoFak^I = 0$ ;  $VerschütteteFak^F = 0$ ;  $NutzungFak^I = 0$ ;  
 $KonstruktionsFak^I = 0$ ;  $VolumenRelationFak^I = 0$ ;  
 $VolumenFak^F = Volumen^F / \$MaxVol^F\$}$

~ Bestimme Risiko für Personen aufgrund des Einsturzes

Wenn( $E.Umw.Geb.\$OID^T\$\#Persons!Collapse^I = 3$ )  
Dann[ $RisikoFak^I = 1$ ;  
Hinweis =  $E.Umw.Geb.\$OID^T\$\$AID^T\$\#Persons!CollapseHinweis^T$ ]

Wenn( $E.Umw.Geb.\$OID^T\$\#Persons!Collapse^I = 2$ )  
Dann[ $RisikoFak^I = 2$ ;  
Hinweis =  $E.Umw.Geb.\$OID^T\$\$AID^T\$\#Persons!CollapseHinweis^T$ ]

Wenn( $E.Umw.Geb.\$OID^T\$\#Persons!Collapse^I = 1$ )

Dann[RisikoFak<sup>I</sup> = 3;

Hinweis = E.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>\$. \$AID<sup>T</sup>\$. \$Persons!CollapseHinweis<sup>T</sup>]

~ Verschüttete in Relation zur maximalen Anzahl Verschütteter

Wenn(Verschüttete<sup>I</sup> > 0)

Dann[VerschütteteFak<sup>F</sup> = Verschüttete<sup>I</sup>/\$MaxVersch<sup>I</sup>];

Hinweis<sup>T</sup> = Hinweis<sup>T</sup> + P.Umw.Geb.\$AID<sup>T</sup>\$. \$HinweisVerschüttete<sup>C</sup>  
{OID<sup>T</sup>, Verschüttete<sup>T</sup>}]

~ Bonus für reale Personenmeldung

Wenn(F.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>\$. \$PersonenschadenVerschütteteAbgeleitet<sup>B</sup> =  
falsch)

Dann[PersonenFak<sup>F</sup> = PersonenFak<sup>F</sup> \* 1, 2;

Hinweis<sup>T</sup> = Hinweis<sup>T</sup> + P.Umw.\$AID<sup>T</sup>\$. \$HinweisReal<sup>T</sup>]

~ Ist ein besondere Gebäude betroffen

Wenn(((A.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>\$. \$Nutzungsklasse<sup>T</sup> = COM6)|

(A.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>\$. \$Nutzungsklasse<sup>T</sup> = COM7)|

(A.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>\$. \$Nutzungsklasse<sup>T</sup> = EDU1)|

(A.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>\$. \$Nutzungsklasse<sup>T</sup> = EDU2))&

(F.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>\$. \$PersonenBetroffenePersonen<sup>I</sup> > 10))

Dann[NutzungFak<sup>I</sup> = 3;

Hinweis<sup>T</sup> = Hinweis<sup>T</sup> + P.Umw.Geb.\$AID<sup>T</sup>\$. \$HinweisNutzungsklasse<sup>C</sup>{OID<sup>T</sup>}<sup>T</sup>]

~ Trümmerstruktur und Überlebenschance abhängig von Konstruktionsart

Wenn(A.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>\$. \$Werkstoff<sup>T</sup> = Holz)

Dann[KonstruktionsFak<sup>I</sup> = 0;

Hinweis<sup>T</sup> = Hinweis<sup>T</sup> + P.Umw.Geb.\$AID<sup>T</sup>\$. \$HinweisWerkstoffHolz]

Wenn(A.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>\$. \$Werkstoff<sup>T</sup> = Beton)

Dann[KonstruktionsFak<sup>I</sup> = 2;

Hinweis<sup>T</sup> = Hinweis<sup>T</sup> + P.Umw.Geb.\$AID<sup>T</sup>\$. \$HinweisWerkstoffBeton]

Wenn(A.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>\$. \$Werkstoff<sup>T</sup> = Mauerwerk)

Dann[KonstruktionsFak<sup>I</sup> = R.Umw.Geb#

StrukturschadenMauerwerksfaktor<sup>R</sup>{#Ergebnis<sup>I</sup>};

Hinweis<sup>T</sup> = Hinweis<sup>T</sup> + R.Umw.Geb#

StrukturschadenMauerwerksfaktor<sup>R</sup>{#Hinweis<sup>T</sup>}]

~ Relation zwischen Anzahl von Verletzten und Trümmervolumen

Wenn(VerschütteteProM3<sup>F</sup> < 0,008)

Dann[VolumenRelationFak<sup>I</sup> = 1;

Hinweis<sup>T</sup> = Hinweis<sup>T</sup> + P.Umw.Geb.\$AID<sup>T</sup>\$. \$HinweisVolZuVerschLow<sup>T</sup>]

Wenn((VerschütteteProM3<sup>F</sup> ≥ 0,008)&(VerschütteteProM3<sup>F</sup> < 0,05))

---

*Dann*[*VolumenRelationFak*<sup>I</sup> = 2;  
*Hinweis*<sup>T</sup> = *Hinweis*<sup>T</sup> + *P.Umw.Geb.\$AID*<sup>T</sup> \$# *HinweisVolZuVerschMed*<sup>T</sup>]  
*Wenn*(*VerschütteteProm3*<sup>F</sup> ≥ 0,05)  
*Dann*[*VolumenRelationFak*<sup>I</sup> = 3;  
*Hinweis*<sup>T</sup> = *Hinweis*<sup>T</sup> + *P.Umw.Geb.\$AID*<sup>T</sup> \$# *HinweisVolZuVerschHoch*<sup>T</sup>]  
*Ergebnis*{*Prioritätszahl*<sup>F</sup> = *RisikoFak* \* 20 + *VerschütteteFak*<sup>F</sup> \* 30 +  
*TypFak* \* 8 + *KonstruktionsFak* \* 8 +  
*VolumenRelationFak*<sup>I</sup> \* 8 + *VolumenFak*<sup>F</sup> \* 6;  
*SetReg* : *F.Umw.Geb.\$OID*<sup>T</sup> \$# *PrioritätszahlEinsturz* = *Prioritätszahl*<sup>F</sup>}

---

Zur Volumenbestimmung des Trümmerfeldes dient die folgende Hilfsregel:

---

**Regeln 7.5** R.Umw.Geb#StrukturschadenVolumen

---

*R.Umw.Geb#StrukturschadenVolumen*<sup>R</sup>{*OID*<sub>i</sub><sup>T</sup>, *EF*<sup>L(\*)</sup>}<sup>L(\*)</sup>  
*C.Umw.Geb#Einsturzvolumen*<sup>C</sup>{*OID*<sup>T</sup>, *S*<sup>I</sup>}<sup>F</sup>  
*Default*{*Volumen*<sup>F</sup> = 0; *Abgeleitet*<sup>B</sup> = *Falsch*;  
*Glaubwürdigkeit*<sup>F</sup> = 0}  
~ *Bestimme Quelle für Volumenberechnung*  
*Wenn*(*F.Umw.Geb.\$OID*<sup>T</sup> \$# *StrukturschadenVolumen*<sup>F</sup> = *leer*)  
*Dann*[*Abgeleitet*<sup>B</sup> = *Wahr*; *Glaubwürdigkeit*<sup>F</sup> =  
*EF.\$OID*<sup>T</sup> \$# *StrukturschadenSchadensklasseGlaubwürdigkeit*<sup>F</sup>;  
*Volumen*<sup>F</sup> = *C.Umw.Geb#*  
*Einsturzvolumen*<sup>C</sup>{*OID*<sup>T</sup>, *EF.\$OID*<sup>T</sup> \$# *StrukturschadenSchadensklasse*<sup>I</sup>}<sup>F</sup>]  
*Sonst*[*Abgeleitet*<sup>B</sup> = *Falsch*; *Glaubwürdigkeit*<sup>F</sup> =  
*F.Umw.Geb.\$OID*<sup>T</sup> \$# *StrukturschadenVolumenGlaubwürdigkeit*<sup>F</sup>  
*Volumen*<sup>F</sup> = *F.Umw.Geb.\$OID*<sup>T</sup> \$# *StrukturschadenVolumen*<sup>F</sup>]  
*Ergebnis*{

---

Die Überlebenschancen verschütteter Personen verschlechtern sich bei Trümmerstrukturen aus Mauerwerk schneller als bei anderen Werkstoffen. Die Höhe des Priorisierungsfaktors bei entsprechenden Gebäuden ist daher auch davon abhängig, wie viel Zeit seit dem Einsturz vergangen ist. Direkt danach weisen diese Gebäude einen sehr hohen Faktor auf. Um zu berücksichtigen, dass sich die Chancen, Überlebende zu bergen, in Relation schneller verschlechtern, verringert sich dieser mit der verstrichenen Zeit. Bei anderen Gebäudewerkstoffen bleibt er dagegen konstant.

**Regeln 7.6 R.Umw.Geb#StrukturschadenMauerwerksfaktor**


---



---

*R.Umw.Geb#StrukturschadenMauerwerksfaktor<sup>R</sup>*{<sup>L</sup>(\*)  
*Default*{*Differenz<sup>F</sup>* = (*C.Umw.Bestimme#AktuelleZeit* –  
*F.Umw.Allgem#SchadenZeit*)/(1000 \* 60 \* 60);  
*Ergebnis<sup>I</sup>* = leer; *Hinweis* = leer}  
 ~ *Bestimme Priorität nach 32/52 und mehr Stunden*  
*Wenn*(*Differenz<sup>F</sup>* < 32)  
*Dann*[*Ergebnis<sup>I</sup>* = 3;  
*Hinweis* = *P.Umw.Geb.\$AID<sup>T</sup>\$#*  
*HinweisEinsturzMauerwerkZeitpunktKurz<sup>C</sup>*{*Differenz<sup>F</sup>*}<sup>T</sup>]  
*Wenn*((*Differenz<sup>F</sup>* ≥ 32)&( *Differenz<sup>F</sup>* < 52))  
*Dann*[*Ergebnis<sup>I</sup>* = 2;  
*Hinweis* = *P.Umw.Geb.\$AID<sup>T</sup>\$#*  
*HinweisEinsturzMauerwerkZeitpunktMittel<sup>C</sup>*{*Differenz<sup>F</sup>*}<sup>T</sup>]  
*Wenn*(*Differenz<sup>F</sup>* > 52)  
*Dann*[*Ergebnis<sup>I</sup>* = 1;  
*Hinweis* = *P.Umw.Geb.\$AID<sup>T</sup>\$#*  
*HinweisEinsturzMauerwerkZeitpunktLang<sup>C</sup>*{*Differenz<sup>F</sup>*}<sup>T</sup>]  
*Ergebnis*{ }

---



---

**7.4.1.2. Brennende Gebäude**

Die Kriterien für die Priorisierung brennender Gebäude lassen sich in zwei Gruppen unterteilen:

1. die direkten Folgen eines Brandes für das jeweilige Gebäude sowie die Glaubwürdigkeit dieser Information. Weiterhin Fakten zum Gebäude, wie seine Wichtigkeit innerhalb der in Unterunterabschnitt 7.2.1.2 definierten Asset-Klassen, mögliche Folgen des Brandes für gelagerte gefährliche Stoffe, die im Gebäude gefährdeten Personen sowie die bereits verbrannte Fläche in Relation zur Gesamtfläche.
2. die Gefahr, die von der Ausbreitung des Brandes ausgeht. Sie ist nur relevant, wenn das Risiko einer Ausbreitung auf Nachbargebäude besteht. Ihr Umfang ergibt sich aus der Wichtigkeit der betroffenen Gebäude, den dort ggf. vorhandenen gefährlichen Stoffe sowie der Anzahl der gefährdeten Personen und der Fläche aller Gebäude.

In welchem Umfang die Anzahl der gefährdeten Personen in die Priorisierung eines brennenden Gebäudes einfließt, hängt von der Glaubwürdigkeit der zugrunde

liegenden Information ab. Abgeleitete Fakten haben eine geringere Relevanz. Beim Umfang ist davon auszugehen, dass sich ein Feuer langsam genug ausbreitet, um es betroffenen Personen zu ermöglichen, sich aus eigener Kraft aus dem Gefahrenbereich zu entfernen. Wird dies verhindert, z. B. wenn zentrale Fluchtwege durch das Feuer versperrt sind, sieht dies anders aus. Dieses Risiko für Flüchtende erhöht sich mit zunehmender Anzahl von Stockwerken und bei Anwesenheit von Personen, die in ihrer Fortbewegung beeinträchtigt sind. Ob bzw. ab wann ein solcher Fall vorliegt, kann der Softwareagent anhand der für ihn zugänglichen Fakten schwer beurteilen. Gefährdete Personen berücksichtigt die Regel daher nur, wenn Informationen aufgrund realer Beobachtungen vorliegen. Die Regel *R.Umw.Geb#FeuerschadenPrioritätszahl*<sup>R</sup>{*OID*<sub>*i*</sub><sup>T</sup>, *OID*<sub>*j*</sub><sup>T</sup>, *AID*<sup>T</sup>}<sup>L(★)</sup> beschreibt das Vorgehen für den Vergleich zweier brennender Gebäude. Die Sortierung der Prioritätsliste brennender Gebäude basiert auf dieser Ordnung.

---

**Regeln 7.7** *R.Umw.Geb#FeuerschadenPrioritätszahl*


---

*R.Umw.Geb#FeuerschadenPrioritätszahl*<sup>R</sup>{*OID*<sub>*i*</sub><sup>T</sup>, *OID*<sub>*j*</sub><sup>T</sup>, *AID*<sup>T</sup>}<sup>L(★)</sup>

*Default*{*E*<sub>*j*</sub><sup>L(★)</sup> = *E.Umw.Geb.\$OID*<sub>*j*</sub><sup>T</sup>\$.*AID*<sup>T</sup>\$.*L(★)*;

*E*<sub>*i*</sub><sup>L(★)</sup> = *E.Umw.Geb.\$OID*<sub>*i*</sub><sup>T</sup>\$.*AID*<sup>T</sup>\$.*L(★)*; *Ergebnis*<sup>I</sup> = *leer*;

*Summe*<sub>*i*</sub><sup>F</sup> = (*E*<sub>*i*</sub>!*Assets!FirePropagationLow*<sup>I</sup> \* 0, 5) +

(*E*<sub>*i*</sub>!*Assets!FirePropagationMed*<sup>I</sup>) + (*E*<sub>*i*</sub>!*Assets!FirePropagationHigh*<sup>I</sup> \* 2);

*Summe*<sub>*j*</sub><sup>F</sup> = (*E*<sub>*j*</sub>!*Assets!FirePropagationLow*<sup>I</sup> \* 0, 5) +

(*E*<sub>*j*</sub>!*Assets!FirePropagationMed*<sup>I</sup>) + (*E*<sub>*j*</sub>!*Assets!FirePropagationHigh*<sup>I</sup> \* 2)}

~ *Risiko für Personen als Ergebnis einer realen Meldung*

*Wenn*((*E*<sub>*i*</sub>!*PersonsGefahrenklasseAbgeleitet*<sup>B</sup> = *falsch*)&

(*E*<sub>*j*</sub>!*PersonsGefahrenklasseAbgeleitet*<sup>B</sup> = *wahr*))

*Dann*[*Wenn*(*E*<sub>*i*</sub>!*Persons!Fire*<sup>I</sup> ≤ 2)*Dann*[*Ergebnis* = *OID*<sub>*i*</sub><sup>T</sup>]]

*Wenn*((*E*<sub>*i*</sub>!*PersonsGefahrenklasseAbgeleitet*<sup>B</sup> = *wahr*)&

(*E*<sub>*j*</sub>!*Persons!GefahrenklasseAbgeleitet*<sup>B</sup> = *falsch*))

*Dann*[*Wenn*(*E*<sub>*j*</sub>!*Persons!Fire*<sup>I</sup> ≤ 2)*Dann*[*Ergebnis* = *OID*<sub>*j*</sub><sup>T</sup>]]

*Wenn*

((*E*<sub>*i*</sub>!*PersonsGefahrenklasseAbgeleitet*<sup>B</sup> = *falsch*)&

(*E*<sub>*j*</sub>!*PersonsGefahrenklasseAbgeleitet*<sup>B</sup> = *falsch*))

*Dann*[*Wenn*(*E*<sub>*j*</sub>!*Persons!Fire*<sup>I</sup> > *E*<sub>*i*</sub>!*Persons!Fire*<sup>I</sup>)

*Dann*[*Ergebnis* = *OID*<sub>*j*</sub><sup>T</sup>]

*Sonst*[*Wenn*(*E*<sub>*j*</sub>!*Persons!Fire*<sup>I</sup> < *E*<sub>*i*</sub>!*Persons!Fire*<sup>I</sup>)

*Dann*[*Ergebnis* = *OID*<sub>*i*</sub><sup>T</sup>]]

]

]

~ Risiko bezüglich der Wichtigkeit des Gebäudes

Wenn(Ergebnis = leer)

Dann[Wenn( $E_i \# \text{Assets!Fire}^I > E_j \# \text{Assets!Fire}^I$ ) Dann[Ergebnis =  $OID_i^T$ ]

Sonst[Wenn( $E_i \# \text{Assets!Fire}^I < E_j \# \text{Assets!Fire}^I$ )

Dann[Ergebnis =  $OID_j^T$ ]

]

]

~ Risiko aufgrund von Gefahrstoffen :

~ Explosivstoffe/Gasförmige – Gifte/Explosion/Toxin Propagation

Wenn(Ergebnis = leer)

Dann[Wenn( $(E_i \# \text{Assets!Explosion}^I < 2) \vee (E_j \# \text{Assets!Explosion}^I < 2)$ )

Dann[Wenn( $(E_i \# \text{Assets/Persons!Explosion}^I > E_j \# \text{Assets/Persons!Explosion}^I$ )

Dann[Ergebnis =  $OID_i^T$ ]

Sonst[Ergebnis =  $OID_j^T$ ]

]

Sonst[

Wenn( $(E_i \# \text{Persons!Explosion}^I < 2) \vee (E_j \# \text{Persons!Explosion}^I < 2)$ )

...

Wenn( $(E_i \# \text{Persons!RespToxins}^I < 2) \vee (E_j \# \text{Persons!RespToxins}^I < 2)$ )

...

~ Risiko der Ausbreitung – Fläche

Wenn( $((\text{Summe}_i^F - \text{Summe}_j^F) / \% \text{MAX}\{\text{Summe}_i^F; \text{Summe}_j^F\}^F) > 0, 2$ )

Dann[Ergebnis =  $OID_i^T$ ; Hinweis =  $E_i \# \text{Assets!FirePropagationHinweis}^T$ ]

Sonst[Wenn( $((\text{Summe}_i^F - \text{Summe}_j^F) / \% \text{MAX}\{\text{Summe}_i^F; \text{Summe}_j^F\}^F) < -0, 2$ )

Dann[Ergebnis =  $OID_j^T$ ; Hinweis =  $E_j \# \text{Assets!FirePropagationHinweis}^T$ ]

~ Vergleich über die potentiell noch zu rettende Fläche

Wenn( $((A.Umw.Geb.\$OID_i^T \# \text{Stockwerke}^I * A.Umw.Geb.\$OID_i^T \# \text{Fläche}^F) -$

$E_i \# \text{FeuerVerbrannteFläche}^F) \geq ((A.Umw.Geb.\$OID_j^T \# \text{Stockwerke}^I *$

$A.Umw.Geb.\$OID_j^T \# \text{Fläche}^F) - E_j \# \text{FeuerVerbrannteFläche}^F)$ )

Dann[Ergebnis =  $OID_i^T$ ]

Sonst[Ergebnis =  $OID_j^T$ ]

Ergebnis{}

---

Als Ergänzung und Erläuterung der Priorisierung erzeugt die Regel  $R.Umw.Geb\# \text{FeuerschadenPrioritätshinweise}^R\{OID^T, AID^T\}^{L(*)}$  Hinweise zu den für die Risikoinschätzung relevanten Fakten des Gebäude. Auf der Benutzungsoberfläche werden diese als Tooltip über den Listenelementen dargestellt.

---

**Regeln 7.8** R.Umw.Geb#FeuerschadenPrioritätshinweis
 

---

*R.Umw.Geb#FeuerschadenPrioritätshinweise*<sup>R</sup>{*OID*<sup>T</sup>, *AID*<sup>T</sup>}<sup>L(\*)</sup>

*Default*{*EU*<sup>L(\*)</sup> = *E.Umw.Geb.\$OID*<sup>T</sup>\$.*AID*<sup>T</sup>\$.*L(\*)*; *Ergebnis*<sup>I</sup> = *leer*;

*Hinweis*<sup>T</sup> = *leer*; *FlächeLow*<sup>F</sup> = *EU#Assets!FirePropagationFlächeLow*<sup>I</sup>;

*FlächeMed*<sup>F</sup> = *EU#Assets!FirePropagationFlächeMed*<sup>I</sup>;

*FlächeHigh*<sup>F</sup> = *EU#Assets!FirePropagationFlächeHigh*<sup>I</sup>;

*FlächeRest*<sup>F</sup> = ((*A.Umw.Geb.\$OID*<sup>T</sup>\$.*#Stockwerke*<sup>I</sup> \*  
*A.Umw.Geb.\$OID*<sup>T</sup>\$.*#Fläche*<sup>F</sup>) – *EU#FeuerVerbrannteFläche*<sup>F</sup>)}

~ *Risiko für Personen*

*Wenn*

((*EU#PersonsGefahrenklasseAbgeleitet*<sup>B</sup> = *falsch*)&

(*Wenn*(*EU#Persons!Fire*<sup>I</sup> ≤ 2))

*Dann*[*Hinweis* = *E#Persons!FireHinweis*<sup>T</sup>]

~ *Risiko bezüglich Wichtigkeit des Gebäudes*

*Wenn*(*EU#Assets!Fire*<sup>I</sup> < 4)

*Dann*[*Hinweis* = *Hinweis* + *EU#Assets!FireHinweis*<sup>T</sup>]

~ *Risiko aufgrund von Gefahrstoffen*

*Wenn*(*EU#Assets!Explosion*<sup>I</sup> < 2)

*Dann*[*Hinweis* = *Hinweis* + *EU#Assets!ExplosionHinweis*<sup>T</sup>]

*Wenn*(*EU#Persons!Explosion*<sup>I</sup> < 2)

*Dann*[*Hinweis* = *Hinweis* + *EU#Persons!ExplosionHinweis*<sup>T</sup>]

*Wenn*(*EU#Persons!RespToxins*<sup>I</sup> < 2)

*Dann*[*Hinweis* = *Hinweis* + *EU#Assets!RespToxinsHinweis*<sup>T</sup>]

~ *Risiko der Ausbreitung*

*Wenn*(*EU#Assets!FirePropagation* ≤ 3)

*Dann*[*Hinweis* = *Hinweis* + *EU#Assets!FirePropagationHinweis*<sup>T</sup>]

~ *Risiko der Ausbreitung – Fläche*

*Wenn*(*FlächeLow*<sup>F</sup> + *FlächeMed*<sup>F</sup> + *FlächeHigh*<sup>F</sup> > 0)

*Dann*[*Hinweis* = *Hinweis* +

*P.Umw.Geb.\$AID*<sup>T</sup>\$.*#HinweisFirePropagationFläche*<sup>C</sup>{*OID*<sup>T</sup>, *FlächeLow*<sup>F</sup>, *FlächeMed*<sup>F</sup>,  
*FlächeHigh*<sup>F</sup>}<sup>T</sup>]

~ *Vergleich über die potentiell noch zu rettende Fläche*

*Wenn*(*FlächeRest*<sup>F</sup> > 0)

*Dann*[*Hinweis* = *Hinweis* + *P.Umw.Geb.\$AID*<sup>T</sup>\$.*#HinweisFireRestfläche*<sup>C</sup>{*OID*<sup>T</sup>,  
*FlächeRest*<sup>F</sup>}<sup>T</sup>]

~ *Kommentar falls Grundlage abgeleitet*

*Wenn*(*Abgeleitet*)

*Dann*[*Hinweis* = *Hinweis* + *P.Umw.* $\$AID^T\$\#$ *HinweisAbgeleitet*]

*Sonst*[*Hinweis* = *Hinweis* + *P.Umw.* $\$AID^T\$\#$ *HinweisReal*]

*Ergebnis*{}

### 7.4.1.3. Verletzte Personen

Die Problemstellung der Versorgung verletzter Personen lässt sich auf die Frage reduzieren, wie mit einer gegebenen Anzahl an verfügbaren Ressourcen eine Menge von Verletzten möglichst zeitnah behandelt werden kann. Eine Versorgung kann in begrenzter Form vor Ort geschehen. Viele Verletzte müssen allerdings in Versorgungseinrichtungen wie Krankenhäuser transportiert werden. Im Katastrophenfall ist anzunehmen, dass nicht genügend Einheiten für den Transport und die Versorgung verfügbar sind. Eine Frage ist somit, wie sich die verfügbaren Ressourcen möglichst optimal für den Transport von Verletzten in Krankenhäuser einsetzen lassen. Wie Fiedrich [Fie04] erläutert, lässt sich dies als Umladeproblem formulieren, welches mit einem Simplex-Algorithmus gelöst werden kann. Die aktive Entscheidungshilfe des DMT berücksichtigt allerdings weitere Parameter wie z. B. Brandwunden, die spezielle Krankenbetten nötig machen, sowie eine Behandlung vor Ort als Alternative zum Transport. Dies macht die Problemstellung sehr viel komplexer. Eine geschlossene Lösung erlaubt außerdem keine kooperative Lösungsfindung mit dem Entscheidungsträger. Sie kann nur in Gänze übernommen oder verworfen werden.

Daher erfolgt wie bei den anderen ADVISOR-Agenten zunächst eine Priorisierung der Gefahrenbereiche. In einem zweiten Schritt werden diesen dann Ressourcen zugeordnet. Die verfügbaren Fakten in Bezug auf Verletzte sind meist ungenauer als die bei den zuvor betrachteten Schadensarten. Primäre Schadensarten, wie das Ausmaß eines Brandes oder der strukturelle Schaden an einem Gebäude, lassen sich auf Grundlage einer visuellen Inspektion gut einzuschätzen. Die Anzahl und der Zustand verletzter Personen lassen sich dagegen auf diese Weise nur ungenau ermitteln. Meist resultiert aber das Risiko für Verletzungen aus einer primären Schadensart. Basierend auf der Anzahl der Personen, die diesem Schaden ausgesetzt sind, lässt sich die Anzahl der Verletzten als sekundäre Schadensart abschätzen.

Im Gegensatz zu den zuvor betrachteten Methoden erfolgt die Priorisierung der Gefahrenbereiche nicht getrennt auf den Listen der prognostizierten *Ext.ProgSchäden*<sup>Personenschaden</sup> und realen Schäden *Ext.AktiveSchäden*<sup>Personenschaden</sup>, sondern von Anfang an auf einer Vereinigung beider Listen *Ext.Schäden*<sup>Personenschaden</sup>. Hauptkriterien bei der Priorisierung sind die Anzahl der zu behandelnden Personen sowie die Glaubwürdigkeit der Informationsquelle. Unterschieden wird zwischen realen und abgeleiteten Informationen. Letztere

sind abgeleitet von realen Fakten hinsichtlich einer primären Schadensart wie Feuer oder strukturelle Schäden. Schadensmeldungen bezüglich verletzter Personen in einem Gebäude können unterschiedliche Detailgrade aufweisen. Um Gebäude vergleichen zu können, ist eine einheitliche Kennzahl notwendig. Diese ist in der Regel  $R.Umw\#PersonenschadenKennzahl^R\{OID^T, AID^T, EF^{L(*)}\}^{L(*)}$  definiert. Liegt eine reale Meldung mit der Aufteilung von Verletzten in Triageklassen vor, gehen diese Fakten gewichtet in die Kennzahl ein. Ist die glaubwürdigste Information eine Meldung bezüglich der Gesamtzahl geschädigter Personen und das Gebäude weist eine Schadensmeldung bezüglich struktureller Schäden auf, erfolgt eine Verteilung in Triageklassen anhand von  $R.Umw.Geb\#ProgStrukturschadenTriage^R\{OID^T, Anzahl^I\}^{L(*)}$  (siehe Unterunterabschnitt 6.3.2.2). Liegt nur die Gesamtzahl der geschädigten Personen vor, wird der Wert in  $PersonenschadenPersonenGeschädigt^I$  als Kennzahl übernommen. Der maximale Wert der Kennzahlen unter Berücksichtigung aller Gebäude ist im Term  $E.Umw.Geb.\$OID^T\$. \$AID^T\$\#MaxPersonenschadenKennzahl^F$  abgelegt.

---

**Regeln 7.9**  $R.Umw.Geb\#PersonenschadenKennzahl$ 


---

$R.Umw\#PersonenschadenKennzahl^R\{OID^T, AID^T, EF^{L(*)}\}^{L(*)}$   
 $Default\{FU^{L(*)} = F.Umw.Geb.\$OID^T\$\$^{L(*)};$   
 $P_{TR}\{OID^T, Anzahl^I\}^{L(*)} =$   
 $R.Umw.Geb\#ProgStrukturschadenTriage^R\{OID^T, Anzahl^I\}^{L(*)};$   
 $Geschädigte^I =$   
 $F.Umw.Geb.\$OID^T\$\#PersonenschadenPersonenGeschädigtAnzahl^I;$   
 $\sim$  Rückgabewerte  
 $VerletztenKennzahl^F = 0; Hinweis^T = leer;$   
 $Glaubwürdigkeit^F = 0; Abgeleitet^B = falsch\}$   
 $\sim$  Bestimme  $VerletztenKennzahl$   
 $Wenn(FU\#PersonenschadenGlaubwürdigkeit^F \geq$   
 $FU\#PersonenschadenPersonenGeschädigtGlaubwürdigkeit^F)$   
 $Dann[VerletztenKennzahl^F = (2 * FU\#PersonenschadenT1Erwartet^I)+$   
 $(1, 25 * FU\#PersonenschadenT2Erwartet^I)+$   
 $(0, 75 * FU\#PersonenschadenT3Erwartet^I)+$   
 $(0, 25 * FU\#PersonenschadenT4Erwartet^I);$   
 $Glaubwürdigkeit^F = FU\#PersonenschadenGlaubwürdigkeit^F;$   
 $Abgeleitet^B = FU\#PersonenschadenAbgeleitet^F]$   
 $Sonst[Hinweis^T = Hinweis^T +$   
 $P.Umw.Geb.\$AID^T\$\#HinweisVerletzteKeineDetails^T;$   
 $Glaubwürdigkeit^F = FU\#PersonenschadenPersonenGeschädigtGlaubwürdigkeit^F;$

$Abgeleitet^B = FU \# Personenschaden Personen Geschädigt Abgeleitet^F;$   
 $Wenn(EF.\$OID^T\$ \# Strukturschaden Schadensklasse > 2)$   
 $Dann[VerletztenKennzahl^F = (2 * PT^R\{OID^T, Geschädigte^I\} \# T1^I) +$   
 $(1, 25 * PT^R\{OID^T, Geschädigte^I\} \# T2^I) +$   
 $(0, 75 * PT^R\{OID^T, Geschädigte^I\} \# T3^I) +$   
 $(0, 25 * PT^R\{OID^T, Geschädigte^I\} \# T4^I)]$   
 $Sonst[VerletztenKennzahl^F =$   
 $FU \# Personenschaden Personen Geschädigt Anzahl^I]$   
 $]$   
 $]$   
 $Wenn(E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\$ \# MaxPersonenschadenKennzahl^F <$   
 $VerletztenKennzahl^F)$   
 $Dann[E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\$ \# MaxPersonenschadenKennzahl^F =$   
 $VerletztenKennzahl^F]$   
 $Ergebnis\{\}$

---

Basierend auf der Kennzahl betreffend die Verletzten, ihrem Maximum sowie der Risikobeurteilung  $E.Umw.Geb.\$OID_i^T\$.\$AID^T\$ \# Persons!Injury^I$  bestimmt die Regel  $R.Umw \# Personenschaden Prioritätszahl^R\{OID^T, AID^T\}^{L(*)}$  für jedes Gebäude den Wert  $\#Prioritätszahl^F$ . Er dient als Ordnungskriterium, um die nach absteigender Priorität sortierte Liste  $Ext.AktiveSchäden^{Personenschaden}$  zu erstellen.

---

**Regeln 7.10**  $R.Umw \# Personenschaden Prioritätszahl$

---

$R.Umw \# Personenschaden Prioritätszahl^R\{OID^T, AID^T\}^{L(*)}$   
 $Default\{FU^{L(*)} = F.Umw.Geb.\$OID_i^T\$^{L(*)};$   
 $EU^{L(*)} = E.Umw.Geb.\$OID_i^T\$.\$AID^T\$^{L(*)};$   
 $VerletztenKennzahl^F = E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\$ \#$   
 $MaxPersonenschadenKennzahl^F;$   
 $\sim$  Rückgabewerte  
 $Prioritätszahl^F = 0; Hinweis^T = leer;$   
 $\sim$  Berechnungsvariablen  
 $PersonenschadenRelation^F = R.Umw \# Personenschaden Kennzahl^R\{OID^T, AID^T\} \#$   
 $VerletztenKennzahl / E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\$ \#$   
 $MaxPersonenschadenKennzahl^F;$   
 $RisikoKennzahl^I = 0; GlaubwürdigkeitsFak^F = 0, 2;$   
 $SchadensKennzahl^F = 200 * PersonenschadenRelation^F\}$   
 $\sim$  Berücksichtige Risikobeurteilung

*Wenn*(*EU* # *Persons*! *Injury*<sup>I</sup> = 1)  
*Dann*[*RisikoKennzahl*<sup>I</sup> = 50;  
*Hinweis*<sup>T</sup> = *Hinweis*<sup>T</sup> + *EU* # *Persons*! *InjuryHinweis*<sup>T</sup>]  
*Wenn*((*EU* # *Persons*! *Injury*<sup>I</sup> = 2)  
*Dann*[*RisikoKennzahl*<sup>I</sup> = 25;  
*Hinweis*<sup>T</sup> = *Hinweis*<sup>T</sup> + *EU* # *Persons*! *InjuryHinweis*<sup>T</sup>]  
*Wenn*(*EU* # *Persons*! *Injury*<sup>I</sup> = 3)  
*Dann*[*RisikoKennzahl*<sup>I</sup> = 10;  
*Hinweis*<sup>T</sup> = *Hinweis*<sup>T</sup> + *EU* # *Persons*! *InjuryHinweis*<sup>T</sup>]  
~ *Bestimme Glaubwürdigkeitsfaktor*  
*Wenn*((*R.Umw* # *PersonenschadenKennzahl*<sup>R{OID<sup>T</sup>, AID<sup>T</sup>}</sup> #  
*Abgeleitet*<sup>B</sup> = falsch) & *R.Umw* #  
*PersonenschadenKennzahl*<sup>R{OID<sup>T</sup>, AID<sup>T</sup>}</sup> L(\*) # *Glaubwürdigkeit* > 0))  
*Dann*[*GlaubwürdigkeitsFak*<sup>F</sup> = 1; *Hinweis*<sup>T</sup> = *Hinweis*<sup>T</sup> +  
*P.Umw.Geb.* \$ *AID*<sup>T</sup> \$ # *HinweisVerletzteRealMeldung*<sup>T</sup>]  
*Wenn*((*R.Umw* # *PersonenschadenKennzahl*<sup>R{OID<sup>T</sup>, AID<sup>T</sup>}</sup> #  
*Abgeleitet*<sup>B</sup> = wahr) & *R.Umw* #  
*PersonenschadenKennzahl*<sup>R{OID<sup>T</sup>, AID<sup>T</sup>}</sup> # *Glaubwürdigkeit* > 0))  
*Dann*[*GlaubwürdigkeitsFak*<sup>F</sup> = 0,8; *Hinweis*<sup>T</sup> = *Hinweis*<sup>T</sup> +  
*P.Umw.Geb.* \$ *AID*<sup>T</sup> \$ # *HinweisVerletzteRealAbgeleitet*<sup>T</sup>]  
*Wenn*((*R.Umw* # *PersonenschadenKennzahl*<sup>R{OID<sup>T</sup>, AID<sup>T</sup>}</sup> #  
*Abgeleitet*<sup>B</sup> = wahr) & *R.Umw* #  
*PersonenschadenKennzahl*<sup>R{OID<sup>T</sup>, AID<sup>T</sup>}</sup> # *Glaubwürdigkeit* < 0))  
*Dann*[*GlaubwürdigkeitsFak*<sup>F</sup> = 0,4; *Hinweis*<sup>T</sup> = *Hinweis*<sup>T</sup> +  
*P.Umw.Geb.* \$ *AID*<sup>T</sup> \$ # *HinweisVerletzteSimAbgeleitet*<sup>T</sup>]  
*Ergebnis*{*Prioritätszahl*<sup>F</sup> = *SchadensKennzahl*<sup>F</sup> \*  
*GlaubwürdigkeitsFak*<sup>F</sup> + *RisikoKennzahl*<sup>I</sup>;  
*SetReg* : *F.Umw.Geb.* \$ *OID*<sup>T</sup> \$ # *PrioritätszahlVerletzte* =  
*Prioritätszahl*<sup>F</sup>}

---

## 7.4.2. Zusammenstellung von Ressourcen

Wie die Priorisierung der Gefahrenstellen ist die Entscheidungsunterstützung bei der Zusammenstellung von Ressourcen in Form einer sortierten Liste mit Hinweisen zu jedem Listenelement realisiert. Die Zuordnung der Ressourcen ist konzipiert als interaktiver Prozess zwischen Anwender und dem unterstützenden Agenten (vgl. Kapitel 8). Ressourcen sind einer Einsatzstelle zunächst vorläufig zugeordnet. Solan-

ge sich der Anwender im Auswahldialog der Ressourcen zu einem Gebäude befindet, kann er jederzeit Einheiten zuordnen und entfernen. Schließt er den Zuordnungsdialog für ein Gebäude ab, werden Befehlsnachrichten erzeugt. Diese verbleiben zunächst im Nachrichtenausgang. Der Entscheidungsträger kann nun die Zuordnung für weitere Gebäude fortsetzen. Solange sich eine Befehlsnachricht noch im Postausgang befindet, ist es möglich, sie durch Entfernen zurückzunehmen. Erst nach einer expliziten Freigabe durch den Anwender werden alle Befehle versendet und dadurch die Ressourcen endgültig zugeordnet.

Um die Ressourcenzuordnung bewerten zu können, müssen die verfügbaren Einheiten bekannt sein. Ausgangsbasis sind die unter dem Befehl des Anwenders stehenden Ressourcen *Ext.Ressourcen*. In dieser Liste sind alle Ressourcen mit ihrem Status abgelegt. Es lässt sich somit jederzeit eine Liste der verfügbaren Einheiten *Ext.RessourcenVerfügbar* bestimmen. Die Bewertung der Lage ändert sich mit jeder zugeordneten Ressource, weshalb die Priorisierungsliste *Ext.RessourcenVerfügbar* mit jeder Einplanung neu berechnet wird. Die Position einer Einheit in der Liste spiegelt die Beurteilung ihres Beitrages zur Bewältigung der Gefahrenlage wider. Sie ist abhängig von der Gefahrensituation und den bereits zugeordneten Einsatzkräften. Der Anwender entscheidet, wann er eine Zuordnung zu einem Einsatzgebiet abschließen möchte. Die Anzahl und die Zusammenstellung der Einheiten müssen dabei nicht den Vorgaben des Agenten folgen. Beim Abschluss der Zuordnung wird der Anwender gefragt, ob die Bearbeitung des Gebietes beendet ist oder nur zurückgestellt werden soll. Ein zurückgestelltes Gebiet verbleibt am Ende der Priorisierungsliste der Gefahrenbereiche. Ist die Zuordnung beendet, wird es daraus entfernt, bis neue Meldungen zu dem Bereich eingehen.

Die Entscheidungsunterstützung berücksichtigt nur die vom jeweiligen ADVISOR-Agenten verwalteten Ressourcenklassen. Für einige Situationen ist aber die Unterstützung durch Einheiten aus einer nicht verwalteten Klasse notwendig. In diesem Fall wird in die Liste der verfügbaren Einheiten eine Ressource als Platzhalter (Dummy) der entsprechenden Klasse hinzugefügt. Sie erscheint in der Priorisierungsliste, ohne ein reales Gegenstück zu besitzen. Ihre Eigenschaften stellen typische Ausprägungen der Attribute einer Einheit des benötigten Typs aus der Ressourcenklasse dar. Wie eine selbstverwaltete Ressource ist sie in der Priorisierungsliste anhand ihrer Fähigkeiten eingeordnet. Auch bei der Zuordnung wird sie wie eine reale Einheit behandelt. Erst bei der Erzeugung der Nachrichten zur Ausführung der Zuordnung wird eine Hilfsanfrage anstelle eines Befehls erstellt.<sup>8</sup>

Das Vorgehen bei der Bewältigung der verschiedenen Gefahrenarten sowie die Fähigkeiten und Leistungswerte der dabei verwendeten Ressourcen unterscheiden sich stark voneinander. Wie bei der Priorisierung der Einsatzstellen werden daher die Bewertungsregeln der verschiedenen Gefahrentypen in jeweils separaten Abschnitten beschrieben. Die wenigen gemeinsamen Regeln und Algorithmen sind in den beiden

---

<sup>8</sup>Ein Befehl entspricht einer *OrderAssignToOperationArea* bzw. *OrderAssignTask*, die Unterstützungsanfrage einer *SupportRequest* Nachricht (vgl. Unterabschnitt 5.2.3).

folgenden Unterabschnitten erläutert.

#### 7.4.2.1. Verwaltung vorläufig zugeordneter Ressourcen

Algorithmus 7.4 beschreibt, wie sich der Status einer Ressource und seine Änderung in der Fakten- und Wissensbasis widerspiegelt. Um den neuen Zustand einer vorläufig zugeordneten Ressource zu berücksichtigen, sind zwei die Methoden in Algorithmus 7.10 zu ergänzen. Neben den Listen über die real einer Einsatzstelle zugewiesenen Einheiten wird eine Schattenliste für solche geführt, deren Einsatz bisher nur geplant ist. Solange sich eine Ressource auf dieser Liste befindet, ist sie nicht mehr verfügbar. Da ihre Zuordnung aber noch nicht real stattgefunden hat, kann sie rückgängig gemacht werden.

---

#### Algorithmus 7.10 Verwalte Schattenressourcen

---

**Eingabe:**  $CLASS^T$  und  $RID^T$  der Ressource, deren Status sich ändert, sowie der  $TYP^T$  und die  $OID^T$  des Umweltobjektes, auf das sich die Meldung bezieht.

**Ausgabe:** Aktualisierte Listen  $Ext.FähigkeitPrimär$ ,  $Ext.FähigkeitSekundär$ ,  $Ext.AktiveSchäden$ ,  $Ext.ProgSchäden$  und  $Ext.Schattenressourcen$  sowie des Status der Ressource  $F.Res.Mob.CLASS^T.RID^T$ .

##### *Weise Ressource zu*

1. Setze  $F.Res.Mob.CLASS^T.RID^T\#Status^T = Zugewiesen$ .
2. Füge dem Element mit dem Schlüssel  $Umw.TYP^T.OID^T$  in  $Ext.Schattenressourcen$  die Zeichenkette ' $Res.Mob.CLASS^T.RID^T$ ' hinzu.
3. Sub-Routine: *Deaktiviere Ressource* aus Algorithmus 7.4

##### *Ziehe Zuweisung zurück*

1. Setze  $F.Res.Mob.CLASS^T.RID^T\#Status^T = Verfügbar$ .
  2. Entferne aus dem Element mit dem Schlüssel  $Umw.TYP^T.OID^T$  in  $Ext.Schattenressourcen$  den Wert  $Res.Mob.CLASS^T.RID^T$ .
  3. Sub-Routine: *Aktiviere Ressource* aus Algorithmus 7.4
- 

#### 7.4.2.2. Verfügbare Fähigkeiten an einer Einsatzstelle

Um zu beurteilen, ob eine Ressource an einer Einsatzstelle benötigt wird, ist eine Übersicht über die Fähigkeiten der dort verfügbaren Kräfte notwendig. Sowohl bereits zugeordnete als auch eingeplante Einheiten müssen berücksichtigt werden. Welche Fähigkeiten für den jeweiligen ADIVISOR-Agenten relevant sind, legen die Werte in  $P.Res.MinPrimärAusstattung.AID^T^{L(T)}$  fest. Anhand dieser Liste ermittelt Algorithmus 7.11 für eine Einsatzstelle ( $TYP^T.OID^T$ ) eine Übersicht der

Fähigkeiten ( $AN^T$ ) der dort zugeordneten Einheiten, die von jeweils drei Werten  $E.Umw.TYP^T.OID^T.AID^T\#\#AN^T \oplus Anzahl \setminus Summe \setminus Max$  charakterisiert werden. Nachdem Ressourcen einer Einsatzstelle neu zugewiesen oder von dieser abgezogen wurden, ist diese Übersicht neu zu berechnen.

---

**Algorithmus 7.11** Übersicht der Ressourcenfähigkeiten bei einer Einsatzstelle

---

**Eingabe:** Liste mit den zu verwaltenden Ressourcenklassen  $P.Res.VerwalteteRessourcen.AID^T\#L^{(T)}$  sowie die  $OID^T$  und den  $TYP^T$  des zu prüfenden Umweltobjektes.

**Ergebnis:** Die Terme  $E.Umw.TYP^T.OID^T.AID^T\#\#AN^T\#Summe$  mit der Summe der Ausprägungen der Fähigkeit  $AN^T$  von allen dem Umweltobjekt zugeordneten Ressourcen.

Die maximale Ausprägung einer Fähigkeit unter allen zugewiesenen Einheiten  $E.Umw.TYP^T.OID^T.AID^T\#\#AN^T\#Max$ . Die Anzahl aller zugewiesenen Ressourcen mit einer Fähigkeit  $E.Umw.TYP^T.OID^T.AID^T\#\#AN^T\#Anzahl$ .

**Vorbereitung Erstelle Ressourcenliste**

Erstelle eine Liste  $R$  aus Ressourcenbezeichnern der Form ' $Res.Mob.CLASS^T.RID^T$ ' durch die Vereinigung der Listen unter dem Schlüssel  $Umw.TYP^T.OID^T$  aus  $Ext.Schattenressourcen$  und  $Ext.Einsatzstelle$ .

**Auswertung - Berechnung der Kennwerte**

Für jede Fähigkeit die für den Agenten relevant ist, also jedes Element  $AT^T$  aus  $P.Res.MinPrimärAusstattung.AID^T\#L^{(T)}$ :

1. Setze  $E.Umw.TYP^T.OID^T.AID^T\#\#AN^T\#Anzahl = 0$ ;  $E.Umw.TYP^T.OID^T.AID^T\#\#AN^T\#Summe = 0$  und  $E.Umw.TYP^T.OID^T.AID^T\#\#AN^T\#Max = 0$ .
2. Für jeden Ressourcenbezeichner  $R$  mit der Ressourcenklasse  $CLASS^T$  und der Id  $RID^T$  sowie der Fähigkeit  $AN^T$  in  $C.Res.Ausstattung\#Fähigkeiten^C\{CLASS^T, RID^T\}^{L(*)}$ :
  - a) Setzte  $E.Umw.TYP^T.OID^T.AID^T\#\#AN^T\#Anzahl = E.Umw.TYP^T.OID^T.AID^T\#\#AN^T\#Anzahl + 1$ .
  - b) Bestimme  $W = C.Res.Ausstattung\#Fähigkeiten^C\{CLASS^T, RID^T\}\#AN^T$  als Wert der Ausprägung von  $AN^T$ .
  - c) Setze  $E.Umw.TYP^T.OID^T.AID^T\#\#AN^T\#Summe = E.Umw.TYP^T.OID^T.AID^T\#\#AN^T\#Summe + W$ .
  - d) Wenn  $E.Umw.TYP^T.OID^T.AID^T\#\#AN^T\#Max < W$ :  
Setze  $E.Umw.TYP^T.OID^T.AID^T\#\#AN^T\#Max = W$ .

---

**7.4.2.3. SAR Einheiten - eingestürzte Gebäude**

Die Bergung verschütteter Personen gliedert sich in die beiden Phasen der Such- und der Rettungsarbeit. Es gibt Einsatzkräfte, die sowohl Fähigkeiten für die Suche als auch für die Rettung aufweisen, aber auch solche, die nur auf eine der Aufgaben spezialisiert sind. Auch Personal ohne spezielle Qualifikation kann zu Arbeiten herangezogen werden. Dessen Leistungsfähigkeit ist dabei allerdings geringer.

Neben der Spezialisierung auf eine Arbeitsphase sind die Ausrüstung und die Ausbildung von Einheiten teilweise auf die Trümmerstrukturen spezieller Werkstoffe abgestimmt. Für diese Trümmerstrukturen existieren verschiedene Differenzierungsmerkmale. Die nachfolgenden Regeln berücksichtigen hauptsächlich die Unterscheidung zwischen Konstruktionen aus Stahlbeton und aus andere Werkstoffen. Die Trümmer von Stahlbeton-Gebäuden weisen meist große Teilstücke und damit umfangreiche Hohlräume auf. Bei der Suche sind Ortungstechniken wie z. B. endoskopische Kamerasysteme gut geeignet. Bei der Rettung müssen große Strukturen bewegt, durchbrochen und unter Beachtung statischer Gegebenheiten abgestützt werden. Gerade dafür sind spezielle Kenntnisse und Ausrüstung notwendig. Zum Bewegen schwere Trümmer müssen ggf. zusätzlich Kranfahrzeuge zur Unterstützung angefordert werden. Da angenommen wird, dass sie nicht unter der direkten Kontrolle stehen, werden sie als Dummy-Ressourcen in der Liste der verfügbaren Einheiten angezeigt. Die Priorisierung der Ressourcen erfolgt anhand von  $R.Res.Mob\#SARPrioritätszahl^R\{RID^T, CLASS^T, DRes^F, DMin^F, OID^T, AID^T, EF^{L(*)}\}^{L(*)}$ . Die Regel  $R.Res.Mob\#SARHinweise^R\{OID^T, AID^T\}^{L(*)}$  bestimmt ergänzend allgemeine Hinweise zur Ressourcenzuordnung.

### Allgemeine Hinweise

Ein wichtiger Teil der allgemeinen Hinweise betrifft die Reservehaltung. Je nachdem, wie viele Gebäude des Einsatzgebiets bereits erkundet wurden, ist es sinnvoll, eine Menge an Einsatzkräften als Reserve zurückzuhalten, um flexibel auf neu auftretende Gefahren reagieren zu können. Entsprechend wird dem Entscheidungsträger empfohlen, Gebäude mit einer geringeren Priorität ggf. zurückzustellen, falls nur noch eine bestimmte Anzahl an Ressourcen als Reserve verfügbar ist. Eine weitere Hilfestellung betrifft das Risiko für Einsatzkräfte bzw. deren Selbstschutz. Dieser Aspekt der Gebäudetriage wird bei der Priorisierung des Gebäudes nicht berücksichtigt. Da Such- und Rettungseinheiten weder über Schutzausrüstung gegen noch Sensorik für die Warnung vor ABC Bedrohungen verfügen, stellen diese eine besonders große Gefahr für sie dar. Bei einem nicht vertretbaren Risiko für Einsatzkräfte sollten einem Gebäude keine entsprechenden Ressourcen zugewiesen werden, selbst wenn ansonsten eine hohe Priorität vorliegt. Die entsprechenden Hinweise leiten sich aus Einträgen in der Risikomatrix ab. Ergänzend wird bei Beton-Konstruktionen auf die Besonderheiten bei den Bergungsarbeiten hingewiesen.

---

#### Regeln 7.11 R.Res.Mob#SARHinweis

---

$R.Res.Mob\#SARHinweise^R\{OID^T, AID^T\}^{L(*)}$

$Default\{FU^{L(*)} = F.Umw.Geb.\$OID_i^T\}^{L(*)};$

$EU^{L(*)} = E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\}^{L(*)};$

$\sim$  Rückgabewerte

$Hinweis^T = leer; EinsatzRisiko^B = Falsch;$   
 $EinsatzRisikoAbgeleitet^B = Falsch;$   
 $Reserve^F = 0; Zuordnung^B = Wahr\}$   
 $\sim$  Reservehaltung abhängig vom Erkundungsgrad  
 Wenn( $C.Umw.Geb\#Erkundungsgrad^F < 0,5$ )  
 Dann[ $Reserve^F = \%ANZAHL\{Ext.Ressourcen\}^I * 0,5$ ]  
 Wenn( $C.Umw.Geb\#Erkundungsgrad^F \geq 0,9$ )  
 Dann[ $Reserve^F = 0$ ]  
 Wenn( $(C.Umw.Geb\#Erkundungsgrad^F < 0,9)\&$   
 $(C.Umw.Geb\#Erkundungsgrad^F \geq 0,5)$ )  
 Dann[ $Reserve^F = \%ANZAHL\{Ext.Ressourcen\}*$   
 $(0,9 - C.Umw.Geb\#Erkundungsgrad^F)$ ]  
 Wenn( $(C.Umw.Geb\#Erkundungsgrad^F < 0,9)\&$   
 $(Reserve^F > \%ANZAHL\{Ext.RessourcenVerfuegbar\}^I)$ )  
 Dann[Wenn( $FU\#PrioritaetszahlEinsturz^F \leq 45$ )  
 Dann[ $Hinweis^T = Hinweis^T + P.Res.Mob.\$AID^T\$\#$   
 $SARHinweisReserveNichtZuordnen^C\{Reserve^F\}^T;$   
 $Zuordnung^B = Falsch$ ]  
 Sonst[ $Hinweis^T = Hinweis^T + P.Res.Mob.\$AID^T\$\#$   
 $SARHinweisReserveZuordnen^C\{Reserve^F\}^T;$   
 $Zuordnung^B = Wahr$ ]  
 ]  
 $\sim$  Nicht abgeleitete Risiken  
 Wenn( $(EU\#Personnel!FireGlaubwuerdigkeit^F > 40)\&$   
 $(EU\#Personnel!Fire^B < 3)\&$   
 $(EU\#Personnel!FireAbgeleitet^B = Falsch)$ )  
 Dann[ $Hinweis^T = Hinweis^T + EU\#Personnel!FireHinweis^T;$   
 $EinsatzRisiko^B = Wahr$ ]  
 Wenn( $(EU\#Personnel!ChemistryGlaubwuerdigkeit^F > 40)\&$   
 ...  
 Wenn( $(EU\#Personnel!RadiationGlaubwuerdigkeit^F > 40)\&$   
 ...  
 Wenn( $(EU\#Personnel!ExplosionGlaubwuerdigkeit^F > 40)\&$   
 ...  
 Wenn( $(EU\#Personnel!RespToxinGlaubwuerdigkeit^F > 40)\&$   
 ...

*Wenn*(*EinsatzRisiko*<sup>B</sup> = *Wahr*)  
*Dann*[*Hinweis*<sup>T</sup> = *Hinweis*<sup>T</sup> +  
*P.Res.Mob.\$AID*<sup>T</sup>*\$#*  
*SARRisikoFürEinsatzkräfteNichtAkzeptabel*<sup>T</sup>]  
 ~ *Abgeleitete Risiken*  
*Wenn*((*EU#Personnel!Fire*<sup>B</sup> < 3))&  
 (*EU#Personnel!FireAbgeleitet*<sup>B</sup> = *Wahr*)  
*Dann*[*Hinweis*<sup>T</sup> = *Hinweis*<sup>T</sup> + *EU#Personnel!FireHinweis*<sup>T</sup>;  
*EinsatzRisikoAbgeleitet*<sup>B</sup> = *Wahr*]  
*Wenn*((*EU#Personnel!Chemistry*<sup>F</sup> < 3))&  
 ...  
*Wenn*(*EinsatzRisikoAbgeleitet*<sup>B</sup> = *Wahr*)  
*Dann*[*Hinweis*<sup>T</sup> = *Hinweis*<sup>T</sup> +  
*P.Res.Mob.\$AID*<sup>T</sup>*\$#SARRisikoFürEinsatzkräfteAkzeptabel*<sup>T</sup>]  
 ~ *Unterstützung durch Kranfahrzeug*  
*Wenn*((*A.Umw.Geb.\$OID*<sup>T</sup>*\$#Werkstoff*<sup>F</sup> = 'Beton')&  
 (*R.Umw.Geb#StrukturschadenGlaubwürdigster#Schadensklasse*<sup>I</sup> ≥ 6)  
*Dann*[*Hinweis*<sup>T</sup> = *Hinweis*<sup>T</sup> + *P.Res.Mob.\$AID*<sup>T</sup>*\$#SARHinweisKran*<sup>T</sup>]  
*Ergebnis*{ }

---

### Ressourcenzuordnung

Die Regel *R.Res.Mob#SARPrioritätszahl*<sup>R</sup>{*RID*<sup>T</sup>, *CLASS*<sup>T</sup>, *DRes*<sup>F</sup>, *DMin*<sup>F</sup>, *OID*<sup>T</sup>, *AID*<sup>T</sup>, *EF*<sup>L(\*)</sup>}<sup>L(\*)</sup> bestimmt den Wert *Prioritätszahl*<sup>F</sup>. Er beurteilt den möglichen Beitrag der Ressource mit *RID*<sup>T</sup> bei der Beseitigung der Gefahrenlage. Seine Höhe dient als Ordnungskriterium der Prioritätsliste der verfügbaren Einheiten. Im Fall eines Gebäudeeinsturzes ist vor allem die Fähigkeit relevant, in der vorliegenden Trümmerstruktur verschüttete Personen zu suchen und zu bergen. Als Erstes ist zu beachten, wie viele Einheiten an der Einsatzstelle eingesetzt werden können, ohne sich gegenseitig zu behindern. Dies ist abhängig vom Trümmervolumen. Sind noch keine oder nicht ausreichend Einheiten zugeordnet und ist keine Begrenzung aufgrund von Reservehaltung in Kraft, erhalten SAR-Einheiten pauschal eine höhere Priorität. Kann aufgrund der Platzverhältnisse nur eine Ressource eingesetzt werden, sind Einheiten zu bevorzugen, die sowohl gute Such- als auch Bergungsfähigkeiten aufweisen. Ist es möglich mehrere Ressourcen einzusetzen, bevorzugt die Regel die Zuordnung gemischter Verbände. In diesem Fall erhalten Ressourcen einen Bonus, deren Qualifikation von den bereits zugeordneten abweicht. Bei Betongebäuden werden immer Einheiten bevorzugt, die auf diesen Werkstoff spezialisiert sind. Dagegen wird bei Mauerwerk vermieden, spezialisierte Kräfte einzusetzen, da sie dort unnötig gebunden sein können. Als abschließendes Ordnungskri-

terium dient die Qualifikation der Einheiten. Verglichen wird die Suchleistung. Als Referenz dient der maximale Wert  $E.Res.Mob.\$AID^T\$ \# SuchleistungMax^F$  des Terms  $Suchleistung^F$  unter allen initial verfügbaren Ressourcen  $Ext.Ressourcen$ . Er wird bei der Initialisierung des ADVISOR-Agenten ermittelt. Die Leistung der beurteilten Ressource wird in Relation zu diesem Wert gestellt.

Neben den SAR-Einheiten werden zwei Ressourcentypen als unterstützende externe Kräfte berücksichtigt. Liegt das Risiko einer Kontamination durch Gefahrstoffe an der Einsatzstelle vor, wird entsprechenden Prüfeinheiten die höchste Priorität vor allen anderen Ressourcentypen eingeräumt und in den Hilfestellungen die Empfehlung gegeben, diese zur Erkundung vorzuschicken. Bis zur Klärung, ob eine Bedrohung durch Gefahrstoffe vorliegt, sollten keine SAR-Einheiten entsendet werden. Die Anforderung einer Unterstützung durch einen Kran wird bei eingestürzten Betongebäuden immer vorgeschlagen. Ob diese wirklich notwendig ist entscheidet der menschliche Anwender. Sinnvollerweise wird er damit warten, bis eine Einheit vor Ort bestätigt hat, dass die Trümmerstruktur eine entsprechende Hilfe sinnvoll erscheinen lässt.

Neben den genannten Faktoren spielt auch die Entfernung der Ressource zum betroffenen Umweltobjekt  $DRes^F = Ext.Ressourcen \# Umw.Geb.\$OID^T\$ \# Res.Mob.\$CLASS^T\$.\$RID^T\$^F$  eine Rolle. Zum kürzesten Anfahrtsweg unter allen verfügbaren Ressourcen  $DMin^F$  wird sie in umgekehrte Relation gesetzt ( $\frac{1}{DRes^F/DMin^F}$ ).  $DMin^F$  ergibt sich aus dem Minimum der Distanzwerte in der Schlüssel-Wert-Liste  $Ext.Schäden^{Strukturschaden} \# Umw.Geb.\$OID^T\$^{L(*)}$ , welche alle Ressourcen enthält, die dem Gebäude zugeordnet werden können. Alle Beurteilungen der Regelblöcke resultieren in dem gewichteten Wert  $R.Res.Mob \# SARPrioritätszahl \# Prioritätszahl^F$ , der die Priorität der bewerteten Einheit in Relation zu den übrigen widerspiegelt.

---

**Regeln 7.12**  $R.Res.Mob \# SARPrioritätszahl$

---

$R.Res.Mob \# SARPrioritätszahl^R \{RID^T, CLASS^T, DRes^F, DMin^F, OID^T, AID^T, EF^{L(*)}\}^{L(*)}$

$Default\{FU^{L(*)} = F.Umw.Geb.\$OID^T\$^{L(*)};$

$EU^{L(*)} = E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\$^{L(*)};$

$AT^{L(*)} = C.Res.Ausstattung \# Fähigkeiten^C \{CLASS^T, RID^T\}^{L(*)};$

$APrim^{L(*)} = A.Res.Mob.\$CLASS^T\$.\$RID^T\$.\$Primär^{L(T)};$

$ASek^{L(*)} = A.Res.Mob.\$CLASS^T\$.\$RID^T\$.\$Sekundär^{L(T)};$

~ Rückgabewerte

$Hinweis^T = leer; Prioritätszahl^F = 0;$

~ Berechnungsvariablen

$MaxEinheiten^I = 1; Qualifikationsfaktor^F = 0;$

$Suchleistungskennzahl^F = 0; ZuordnungEinheiten^B =$

$R.Res.Mob \# SARHinweise^R \{\$OID^T\$, \$AID^T\}\#ZuordnungSAR^B;$

~ Vorberechnete Werte

$$DRel^F = 1/(\$DRes^F/\$DMin^F\$);$$

$$Qualifikation^I = \%REF\{ 'AT\#Q' + A.Umw.Geb.\$OID^T\#\#Werkstoff^T\};$$

$$QualifikationAnzahl^I =$$

$$\%REF\{ 'EU\#Q' + A.Umw.Geb.\$OID^T\#\#Werkstoff^T + 'Anzahl'\};$$

$$QualifikationSumme^I =$$

$$\%REF\{ 'EU\#Q' + A.Umw.Geb.\$OID^T\#\#Werkstoff^T + 'Summe'\};$$

$$QualifikationMax^I = \%REF\{ 'EU\#Q' + A.Umw.Geb.\$OID^T\#\#Werkstoff^T + 'Max'\};$$

$$Volumen^F = R.Umw.Gebäude\#trukturschadenVolumen^R\{OID_i^T, EF^{L(*)}\}\#Volumen\};$$

~ Vorerkundung bei unsicherer Lage

$$Wenn(((EF.\$OID^T\#\#StrukturschadenAbgeleitet^B = Wahr)|$$

$$(EF.\$OID^T\#\#StrukturschadenGlaubwürdigkeit < 20))\&(EU\#Anzahl^I < 1))$$

$$Dann[ZuErkunden^B = Wahr; Hinweis^T = Hinweis^T +$$

$$P.Res.Mob.\$AID^T\#\#UnsichereInformationslage^T]$$

$$Wenn((AT\#Vorauserkundung^I! = leer)\&(ZuErkunden^B = Wahr))$$

$$Dann[Wenn(APrim\#Vorauserkundung^I! = leer)$$

$$Dann[Prioritätszahl^F = Prioritätszahl^F + 1100;$$

$$Hinweis^T = Hinweis^T + P.Res.Mob.\$AID^T\#\#VorauserkundungPrim^T];$$

$$Wenn(ASec\#Vorauserkundung^I! = leer)$$

$$Dann[Prioritätszahl^F = Prioritätszahl^F + 1000;$$

$$Hinweis^T = Hinweis^T + P.Res.Mob.\$AID^T\#\#VorauserkundungSec^T]$$

]

~ Bestimme Anzahl der zuordenbaren Einheiten

$$Wenn(R.Res.Mob\#SARHinweise^R\{OID^T, AID^T\}\#ZuordnungSAR^B = falsch)$$

$$Wenn(Volumen^F \leq 5000)$$

$$Dann[MaxEinheiten^I = 1];$$

$$Wenn((Volumen^F > 5000)\&(Volumen^F \leq 15000))$$

$$Dann[MaxEinheiten^I = 2];$$

$$Wenn(Volumen^F > 15000)$$

$$Dann[MaxEinheiten^I = 3];$$

~ Prüfe bereits zugeordnete Kräfte und Reservebeurteilung

$$Wenn((ZuordnungEinheiten^B = Wahr)\&$$

$$(EU\#SuchleistungAnzahl^I < MaxEinheiten^I))$$

$$Dann[Hinweise^T = Hinweise^T + P.Res.Mob.\$AID^T\#\#$$

$$SARZuordnungJa^C\{EU\#SuchleistungAnzahl^I, MaxEinheiten^I\}^T;$$

$$Prioritätszahl^F = Prioritätszahl^F + 500]$$

*Sonst*[*ZuordnungEinheiten*<sup>B</sup> = *Falsch*;  
*Hinweise*<sup>T</sup> = *Hinweise*<sup>T</sup> + *P.Res.Mob.\$AID*<sup>T</sup>*\$#*  
*SARZuordnungNein*<sup>C</sup>{*EU#SuchleistungAnzahl*<sup>I</sup>, *MaxEinheiten*<sup>I</sup>}<sup>T</sup>]  
 ~ *Prioritätsfaktor nach Spezialisierung*  
 ~ *Eine Einheit maximal* ⇒ *Suche Generalist*  
*Wenn*((*MaxEinheiten*<sup>I</sup> = 1)&( *ZuordnungEinheiten*<sup>B</sup> = *Wahr*))  
*Dann*[*Hinweise*<sup>T</sup> = *Hinweise*<sup>T</sup> + *P.Res.Mob.\$AID*<sup>T</sup>*\$#*  
*SARZuordnungEineEinheit*<sup>T</sup>;  
*Wenn*((*AT#QSuche*<sup>I</sup> ≥ 2)&( *AT#QRettung*<sup>I</sup> ≥ 2))  
*Dann*[*Wenn*((*A.Umw.Geb.\$OID*<sup>T</sup>*\$#Werkstoff*<sup>T</sup> = ' *Beton*' )&  
 ((*EF.\$OID*<sup>T</sup>*\$#StrukturschadenSchadensklasse*<sup>I</sup> = 7)|  
 ((*EF.\$OID*<sup>T</sup>*\$#StrukturschadenSchadensklasse*<sup>I</sup> < 7)&  
 (*EF.\$OID*<sup>T</sup>*\$#StrukturschadenSchadensklasse*<sup>I</sup> > 4))&  
 (*R.Res.Mob#SARHinweise*<sup>R</sup>{*OID*<sup>T</sup>, *AID*<sup>T</sup>}#  
*PrioritätszahlEinsturz*<sup>F</sup> > 84))&( *APrim#QBeton*<sup>I</sup>! = *leer*))  
*Dann*[*Qualifikationsfaktor*<sup>F</sup> = (*AT#QSuche*<sup>I</sup> +  
*AT#QRettung*<sup>I</sup> + *Qualifikation*<sup>I</sup>)/3 + 3;  
*Hinweise*<sup>T</sup> = *Hinweise*<sup>T</sup> + *P.Res.Mob.\$AID*<sup>T</sup>*\$#SARZuordnungBeton*<sup>T</sup>]  
*Sonst*[*Qualifikationsfaktor*<sup>F</sup> = *Qualifikationsfaktor*<sup>F</sup> +  
 (*AT#QSuche*<sup>I</sup> + *AT#QRettung*<sup>I</sup> + *Qualifikation*)/3]  
 ]  
 ]  
 ]  
 ~ *Mehr als eine Einheit* ⇒ *Gemischter Verband*  
*Wenn*((*MaxEinheiten*<sup>I</sup> ≥ 2)&*ZuordnungEinheiten*<sup>B</sup> = *Wahr*))  
*Dann*[*Hinweise*<sup>T</sup> = *Hinweise*<sup>T</sup> + *P.Res.Mob.\$AID*<sup>T</sup>*\$#*  
*SARZuordnungWeitereEinheiten*;  
*Wenn*((*AT#QRettung*<sup>I</sup> > 1)&( *E#QRettungMax*<sup>F</sup> ≤ 1))  
*Dann*[*Qualifikationsfaktor*<sup>F</sup> = *Qualifikationsfaktor*<sup>F</sup> +  
*AT#QRettung*<sup>I</sup>; *Hinweise*<sup>T</sup> = *Hinweise*<sup>T</sup> +  
*P.Res.Mob.\$AID*<sup>T</sup>*\$#SARrettungZuordnung*<sup>T</sup>];  
*Wenn*((*AT#QSuche*<sup>I</sup> > 1)&( *E#QSucheMax*<sup>F</sup> ≤ 1))  
*Dann*[*Qualifikationsfaktor*<sup>F</sup> = *Qualifikationsfaktor*<sup>F</sup> +  
*AT#QSuche*<sup>I</sup>; *Hinweise*<sup>T</sup> = *Hinweise*<sup>T</sup> +  
*P.Res.Mob.\$AID*<sup>T</sup>*\$#SARSucheZuordnung*<sup>T</sup>];  
*Wenn*((*A.Umw.Geb.\$OID*<sup>T</sup>*\$#Werkstoff*<sup>T</sup> = ' *Beton*' )&

$((EF.\$OID^T\#\$StrukturschadenSchadensklasse^I = 7)|$   
 $((EF.\$OID^T\#\$StrukturschadenSchadensklasse^I < 7)\&$   
 $(EF.\$OID^T\#\$StrukturschadenSchadensklasse^I > 4))\&$   
 $(R.Res.Mob\#\$SARHinweise^{R\{OID^T,AID^T\}}\#\$   
 $PrioritätszahlEinsturz^F > 84))\&(QualifikationMax^F \leq 1)\&$   
 $(APrim\#\$QBeton^I! = leer)$   
 Dann[Qualifikationsfaktor<sup>F</sup> = (AT#\\$QSuche<sup>I</sup> +  
 $AT\#\$QRettung^I + Qualifikation^I)/3 + 3;$   
 $Hinweise^T = Hinweise^T + P.Res.Mob.\$AID^T\#\$SARZuordnungBeton^T]$   
 Sonst[Qualifikationsfaktor<sup>F</sup> = Qualifikationsfaktor<sup>F</sup> + Qualifikation<sup>I</sup>;  
 $Wenn(E\#\$QBetonMax^I < AT\#\$QBeton^I)$   
 Dann[Qualifikationsfaktor<sup>F</sup> = Qualifikationsfaktor<sup>F</sup> +  
 $(AT\#\$QBeton^I - E\#\$QBetonMax^I);$   
 $Wenn(E\#\$QMauerwerkMax^I < AT.QMauerwerk^I)$   
 Dann[Qualifikationsfaktor<sup>F</sup> = Qualifikationsfaktor<sup>F</sup> +  
 $(AT\#\$QMauerwerk^I - E\#\$QMauerwerkMax^I);$   
 $Wenn(E\#\$QHolzMax^I < AT\#\$QHolz^I)$   
 Dann[Qualifikationsfaktor<sup>F</sup> = Qualifikationsfaktor<sup>F</sup> +  
 $(AT\#\$QHolz^I - E\#\$QHolzMax^I);$   
 $]$   
 $]$   
 ~ Keine spezialisierten Kräfte bei Mauerwerk  
 $Wenn((A.Umw.Geb.\$OID^T\#\$Werkstoff^T$   
 $= 'Mauerwerk')\&(APrim\#\$QBeton^I! = leer))$   
 Dann[Qualifikationsfaktor<sup>F</sup> = 0;  
 $Hinweise^T = Hinweise^T + P.Res.Mob.\$AID^T\#\$$   
 $SARZuordnungMauerwerk^T];$   
 ~ Bestimme Kennzahl anhand Suchleistung und Qualifikation  
 $Wenn(AT\#\$Suchleistung^F > 0)$   
 Dann[Suchleistungskennzahl<sup>F</sup> = (AT#\\$Suchleistung<sup>F</sup> /  
 $E.Res.Mob.\$AID^T\#\$SuchleistungMax^F) * Qualifikationsfaktor^F * 200];$   
 ~ Unterstützung bei Gefahrstoffen falls nicht vorhanden  
 $Wenn((R.Res.Mob\#\$SARHinweise^{R\{OID^T,AID^T\}}\#\$   
 $EinsatzRisiko^B = Wahr)\&(EU\#\$AbcErkundungAnzahl < 1)$   
 $Dann[Wenn(APrim\#\$AbcErkundung^B! = leer)$   
 $Dann[Prioritätszahl^F = Prioritätszahl^F + 1000; Hinweis =$   
 $Hinweise + P.Res.Mob.\$AID^T\#\$SARAbcErkundung^T];$

~ *Kranunterstützung*

Wenn( $(A.Umw.Geb.OID^T \# Werkstoff^T = 'Beton')$  &

$(R.Umw.Geb \# StrukturschadenGlaubwürdigster \#$

$Schadensklasse^I \geq 6)$  &  $(EU \# TraglastAnzahl^I < 1)$  &

$(APrim \# Traglast^F! = leer)$ )

Dann [ $Prioritätszahl^F = Prioritätszahl^F + 500$ ; Hinweis =

$Hinweise + P.Res.Mob.AID^T \# SARKran^T$ ];

~ *Distanz zum Einsatzgebiet*

Wenn( $DRel^F \geq 0,75$ )

Dann [ $Hinweis^T = Hinweis^T +$

$P.Res.Mob.AID^T \# RelativDistanzSehrGering^C \{DRes^F\}^T$ ]

Wenn( $DRel^F < 0,75$ ) & ( $DRel^F \geq 0,5$ )

Dann [ $Hinweis^T = Hinweis^T +$

$P.Res.Mob.AID^T \# RelativDistanzGering^C \{DRes^F\}^T$ ]

Wenn( $DRel^F < 0,5$ ) & ( $DRel^F \geq 0,25$ )

Dann [ $Hinweis^T = Hinweis^T +$

$P.Res.Mob.AID^T \# RelativDistanzGross^C \{DRes^F\}^T$ ]

Wenn( $DRel^F < 0,25$ )

Dann [ $Hinweis^T = Hinweis^T +$

$P.Res.Mob.AID^T \# RelativDistanzSehrGross^C \{DRes^F\}^T$ ]

Ergebnis {  $Prioritätszahl^F = Prioritätszahl^F + 200 * DRel^F$  }

---

### 7.4.2.4. Feuerwehr-Einheiten - brennende Gebäude

Hauptziel bei der Auswahl von Feuerweereinheiten zur Bekämpfung eines Gebäudebrandes ist dessen Eindämmung. Sekundäre Ziele ergeben sich durch taktische Vorgaben, wie z. B. die Unterstützung von Löschfahrzeugen durch weitere Ressourcentypen sowie spezielle Gegebenheiten an der Einsatzstelle, wie z. B. im Gebäude eingeschlossene Personen.

Um das primäre Ziel zu erreichen, muss die Löschkapazität der zugeordneten Ressourcen ausreichen, um den Brand am Gebäude erfolgreich bekämpfen zu können. Wie groß diese Kapazität sein sollte, lässt sich anhand des Schadensumfangs bestimmen. Da sich der Schaden durch ein aktives<sup>9</sup> Feuer weiterentwickelt und nicht auf dem Niveau der Beobachtung verbleibt, verringert sich kontinuierlich die Glaubwürdigkeit einer entsprechenden Schadensmeldung. Mit der Neubewertung der Glaub-

---

<sup>9</sup>Als aktiv wird ein Feuer dann angesehen, wenn es noch weitere Zerstörungen verursacht, also noch nicht gelöscht wurde oder aufgrund fehlenden brennbaren Materials erloschen ist.

würdigkeit beim Eintreffen neuer Meldungen (Unterunterabschnitt 6.2.2.4) wird sichergestellt, dass die Regel  $R.Umw.Geb\#Feuerstärke\backslash FeuerschadenGlaubwürdigster^R\{OID^T\}^{L(*)}$  (Unterunterabschnitt 6.3.2.1) den zum aktuellen Zeitpunkt glaubwürdigsten Schadenszustand liefert. Dieser wird über das in Unterunterabschnitt 6.2.2.4 beschriebene Vorgehen in das Schadensmodell der Feuersimulation überführt. Mithilfe der Simulation kann aus dem Schadensmodell und der Zeitdifferenz vom Engehen der Meldung bis zum möglichen Eintreffen der ersten Feuerweereinheit<sup>10</sup>, der zu erwartende Schadensumfang bestimmt werden. Ergebnisse der Simulation sind die aktuelle Brandstärke als Wärmemenge und der Schadensumfang in Form der verbrannten Fläche. Die entsprechenden Werte finden sich in den Termen  $E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\#\#Feuerstärke^F\backslash Feuerschaden^F$ .

Zur Bestimmung der zum Löschen notwendigen Ressourcen kommt die Barnett-Methode zum Einsatz [Dav00]. Wie im Simulationsmodell ist auch hier die Flussrate der Löscheinheiten und die Wärmeleistung des Gebäudes entscheidend (vgl. Unterunterabschnitt 6.2.2.3). Eine diesbezüglich wichtige Kennzahl ist die theoretisch verfügbare Löschkapazität aller Einsatzkräfte  $E.Res.Mob.\$AID^T\#\#GesamtLöschkapa^F$ . Sie ergibt sich aus der Summe der Löschkapazität aller frei verfügbaren Einheiten  $C.Res.Ausstattung\#Fähigkeiten^C\{CLASS^T, RID^T\}\#\#Löschkapa^F$ . Die Löschkapazität einer Einheit bestimmt sich aus der Flussrate sowie einem vom Löschmittel abhängigen Effizienzfaktor. Ob dieses Mittel außerdem spezielle Fähigkeiten gegen brennbare und explosive Gefahrstoffe aufweist ermittelt  $C.Res.Ausstattung\#Fähigkeiten^C\{CLASS^T, RID^T\}\#\#GefahrstoffeBrandLöschen^B$ .

### Allgemeine Hinweise

Die allgemeinen Ratschläge und Warnungen zum Gefahrenbereich sind unabhängig von der Priorisierung der Ressourcen. Sie beinhalten das Hervorheben möglicher Risiken für Personen und Personal sowie eine Abschätzung, ob die noch verfügbaren Kräfte ausreichen, um das aktive Feuer erfolgreich zu bekämpfen. Bewertet wird außerdem, ob der Einsatz unter Berücksichtigung der bereits bestehenden Schäden sinnvoll ist. Sollte dies nicht der Fall sein, bindet eine Zuordnung von Einheiten unnötig Kräfte, die bei anderen Gefahrenbereichen ggf. Erfolg versprechender eingesetzt werden können.

---

#### Regeln 7.13 R.Res.Mob\#FeuerHinweis

---

$R.Res.Mob\#FeuerHinweise^R\{RID^T, CLASS^T, OID^T, AID^T\}$   
 $Default\{FU^{L(*)} = F.Umw.Geb.\$OID_i^T\}^{L(*)};$

---

<sup>10</sup>Um diese Zeit zu bestimmen wird der Durchschnitt gebildet aus den ersten zehn Werten der nach Abfahrtszeit aufsteigend sortiert Ressourcenlisten *Ext.AktiveSchäden* bzw. *Ext.ProgSchäden*.

$EU^{L(*)} = E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\$^{L(*)};$   
 $Hinweis^T = leer; AbcRisiko^B = Falsch\}$   
 $\sim$  Ist eine Brandbekämpfung sinnvoll  
 Wenn( $(R.Umw.Geb\#FeuerschadenGlaubwürdigster^R\{OID^T\}\#\#$   
 $Schadensklasse^I \geq 3)$ )  
 $((R.Umw.Geb\#FeuerschadenGlaubwürdigster^R\{OID^T\}\#\#Schadensklasse^I \geq 2)\&$   
 $R.Umw.Geb\#FeuerstärkeGlaubwürdigster^R\{OID^T\}\#\#Schadensklasse^I \geq 2)$ )  
 Dann[ $Hinweis^T = Hinweis^T + P.Res.Mob.\$AID^T\$ \#\#BekämpfungUneffektiv^T$ ]  
 $\sim$  Reicht die Löschkapazität  
 Wenn( $E.Res.Mob.\$AID^T\$ \#\#GesamtLöschkapa^F +$   
 $EU\#LöschkapaSumme < EU\#Brandstärke^F$ )  
 Dann[ $Hinweis^T = Hinweis^T + P.Res.Mob.\$AID^T\$ \#\#RessourcenUnzureichend^T$ ]  
 $\sim$  Gefahren  
 Wenn( $FU\#Fest!BrennbarGefährdung^I \geq 2$ )  
 Dann[ $Hinweis^T = Hinweis^T + P.Res.Mob.\$AID^T\$ \#\#$   
 $GefährdungBrennbareStoffe^C(A.Umw.Geb.\$OID^T\$ \#\#Fest!BrennbarBeschreibung^T)^T$ ]  
 Wenn( $FU\#Flüssig!BrennbarGefährdung^I \geq 2$ )  
 ...  
 Wenn( $FU\#Gasförmig!BrennbarGefährdung^I \geq 2$ )  
 ...  
 $\sim$  Risiken  
 Wenn( $EU\#Assets!FirePropagation^I \leq 1$ )  
 Dann[ $Hinweis^T = Hinweis^T +$   
 $EU\#Assets!FirePropagationHinweis^T$ ]  
 Wenn( $EU\#Persons!Fire^I \leq 2$ )  
 ...  
 Wenn( $EU\#Persons!FirePropagation^I \leq 2$ )  
 ...  
 Wenn( $EU\#Assets!Explosion^I \leq 1$ )  
 ...  
 Wenn( $EU\#Persons!Radiation^I \leq 2$ )  
 ...  
 Wenn( $EU\#Persons!RespToxins^I \leq 2$ )  
 ...  
 Wenn( $EU\#Persons!Chemistry^I \leq 2$ )  
 ...  
 $\sim$  Risiken für Einsatzkräfte

---

```

Wenn(EU#Personnel!ExplosionI ≤ 2)
...
Wenn(EU#Personnel!RadiationI ≤ 2)
Dann[HinweisT = HinweisT +
      EU#Personnel!RadiationHinweisT;
      AbcRisikoB = Wahr];
Wenn(EU#Personnel!RespToxinsI ≤ 2)
...
Wenn(EU#Personnel!ChemistryI ≤ 2)
...
Wenn(AbcRisikoB = Wahr)
Dann[HinweisT = HinweisT + P.Res.Mob.$AIDT$#AbcRisikoEinsatzkräfteT]
~ Weitere
Wenn(GebHöheF ≥ 5)
Dann[HinweisT = HinweisT + P.Res.Mob.$AIDT$#GebäudeHöheT]
Ergebnis{}

```

---

### Ressourcenzuordnung

Wie bei den SAR-Einheiten ermittelt  $R.Res.Mob\#FeuerPrioritätszahl^R\{RID^T, CLASS^T, DRes^F, DMin^F, OID^T, AID^T, EF^{L(\star)}\}^{L(\star)}$  den Wert  $Prioritätszahl^F$ , der eine Beurteilung ihres möglichen Beitrages zur Bekämpfung des Feuers in dem gewählten Gebäude repräsentiert. Neben der Gefahrenlage gehen die Risikobeurteilung, die Distanz des Anfahrtsweges sowie die bereits zugeordneten Ressourcen in die Bewertung ein. Hinweise erläutern, auf welchen Annahmen die Priorisierung basiert. Die Entfernung der Ressource zur Einsatzstelle  $DRes^F$  sowie die maximale Entfernung einer Ressource  $DMax^F$  werden als Attribute übergeben. Die Regel gliedert sich in mehrere Abschnitte, die jeweils einen spezifischen Aspekt betrachten. Unterschiedlich hohe Multiplikatoren bilden die Relevanz der verschiedenen Aspekte ab.

Basieren die Fakten bezüglich der Schäden nicht auf realen Meldungen, hat die Erkundung die höchste Priorität, da bei einer begrenzten Ressourcenlage eine Zuordnung aufgrund falscher Fakten Verschwendung darstellt. Speziell zur Erkundung geeignete Einheiten mit der Fähigkeit  $\#Vorauserkundung^I$  erhalten daher für entsprechende Gebäude die höchste Priorität. Erst, wenn eine glaubwürdige Meldung vorliegt, die ein Feuer bestätigt, wird die Entsendung weitere Einsatzkräfte empfohlen. Anhand des Vergleichs der Summe der Löschkapazitäten bisher zugeordneter Ressourcen ( $\#LöschkapaSumme^F$ ) mit dem vermuteten Umfang des Brandes ( $\#Feuerstärke^F$ ) bewertet die Regel, ob zusätzliche Einheiten notwendig sind, um die zum Löschen nötige Kapazität zu erreichen. Um keine unnötigen Kapa-

zitäten zu binden, werden Einheiten bevorzugt, die die benötigte Löschkapazität möglichst genau erreichen. Sollte der Brand durch Gefahrstoffe besondere Anforderungen an das Löschmittel stellen, werden Einheiten mit entsprechender Fähigkeit ( $\#GefahrstoffeBrandLöschen^B$ ) höher bewertet. Beim Verdacht auf Gefahrstoffe werden Einheiten mit der Eigenschaft  $\#AbcErkundung^I$  besonders hoch priorisiert, um durch eine Erkundung den Selbstschutz der Einsatzkräfte sicherstellen zu können. Liegt eine bestätigte Gefahr vor, bevorzugt die Regel Einsatzkräfte, die über passende Schutzausrüstung ( $\#AbcSchutz^I$ ) verfügen. Auch bauliche Eigenschaften gehen ein. Überschreitet ein Gebäude z. B. eine gewisse Höhe, empfiehlt die Regel den Einsatz eines Hubfahrzeugs zur Unterstützung der Feuerbekämpfung und der Rettung von eingeschlossenen Personen.

---

**Regeln 7.14** R.Res.Mob#FeuerPrioritätszahl

---

$R.Res.Mob\#FeuerPrioritätszahl^R\{RID^T, CLASS^T, DRes^F, DMin^F, OID^T, AID^T, EF^{L(*)}\}^{L(*)}$

$Default\{FU^{L(*)} = F.Umw.Geb.\$OID_i^T\$^{L(*)};$

$EU^{L(*)} = E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\$^{L(*)};$

$AT^{L(*)} = C.Res.Ausstattung\#Fähigkeiten^C\{CLASS^T, RID^T\}^{L(*)};$

$APrim^{L(*)} = A.Res.Mob.\$CLASS^T\$.\$RID^T\$.Primär^{L(T)};$

$ASec^{L(*)} = A.Res.Mob.\$CLASS^T\$.\$RID^T\$.Sekundär^{L(T)};$

~ Rückgabewerte

$Hinweis^T = leer; Prioritätszahl^F = 0;$

~ Berechnungsvariablen

$DRel^F = 1/(\$DRes^F\$/\$DMin^F\$);$

$ZuErkunden^B = Falsch;$

$GebHöhe^F = A.Umw.Geb.\$OID^T\#\$Stockwerke*$

$A.Umw.Geb.\$OID^T\#\$Deckenhöhe\}$

~ Vorerkundung bei unsicherer Lage

$Wenn(((EF.\$OID^T\#\$FeuerschadenAbgeleitet^B = Wahr)|$

$(EF.\$OID^T\#\$FeuerschadenGlaubwürdigkeit < 20))\&(EU\#Anzahl^I < 1))$

$Dann[ZuErkunden^B = Wahr; Hinweis^T = Hinweis^T +$

$P.Res.Mob.\$AID^T\#\$UnsichereInformationslage^T]$

$Wenn((AT\#Vorauserkundung^I! = leer)\&(ZuErkunden^B = Wahr))$

$Dann[Wenn(APrim\#Vorauserkundung^I! = leer)$

$Dann[Prioritätszahl^F = Prioritätszahl^F + 750;$

$Hinweis^T = Hinweis^T + P.Res.Mob.\$AID^T\#\$VorauserkundungPrim^T];$

$Wenn(ASec\#Vorauserkundung^I! = leer)$

```

    Dann[PrioritätszahlF = PrioritätszahlF + 700;
        HinweisT = HinweisT + P.Res.Mob.$AIDT$#VorauserkundungSecT]
]
~ Fähigkeit : Brandbekämpfung
Wenn((EU#FeuerstärkeF - EU#LöschkapaSummeF) > 0)
Dann[Wenn(AT#LöschkapaF - (EU#FeuerstärkeF -
    EU#LöschkapaSummeF)) ≥ 0
    Dann[PrioritätszahlF = PrioritätszahlF + 500 - (AT#LöschkapaF -
        (EU#FeuerstärkeF - EU#LöschkapaSummeF));
        ÜberhangF = ((AT#LöschkapaF - (EU#FeuerstärkeF -
            -EU#LöschkapaSummeF))/AT#LöschkapaF;
        HinweisT = HinweisT +
        P.Res.Mob.$AIDT$#LöschleistungAusreichendC{ÜberhangF}T]
    Sonst[PrioritätszahlF = PrioritätszahlF + 500; HinweisT =
        HinweisT + P.Res.Mob.$AIDT$#LöschleistungNötigT]
]
]
Sonst[HinweisT = HinweisT +
    P.Res.Mob.$AIDT$#LöschleistungAusreichendT]
~ Fähigkeit : Gefahrstoffebrand löschen
Wenn((EU#Personnel!ExplosionI ≤ 2)|(FU#Fest!BrennbarGefährdungI ≥ 2)|
(FU#Flüssig!BrennbarGefährdungI ≥ 2)|
(FU#Gasförmig!BrennbarGefährdungI ≥ 2))
Dann[Wenn(AT#GefahrstoffeBrandLöschenB)
    Dann[PrioritätszahlF = PrioritätszahlF + 100;
        HinweisT = HinweisT + P.Res.Mob.$AIDT$#GefährdungBrennbaresT]
]
]
~ Fähigkeit : ABC - Erkundung
Wenn(((EU#Personnel!RadiationI ≤ 2)|
(EU#Personnel!RespToxinsI ≤ 2)|(EU#Personnel!ChemistryI ≤ 1))&
((AT#AbcErkundungI! = leer)&(EU#AbcErkundungAnzahlI < 1))
Dann[Wenn(APrim#AbcErkundungI! = leer)
    Dann[PrioritätszahlF = PrioritätszahlF + 600; Hinweis =
        Hinweise + P.Res.Mob.$AIDT$#AbcErkundungPrimT];
    Wenn(ASec#AbcErkundungI! = leer)
    Dann[PrioritätszahlF = PrioritätszahlF + 550;
        Hinweis = Hinweise + P.Res.Mob.$AIDT$#AbcErkundungSecT]
]
]

```

~ Fähigkeit : ABC – Schutz

Wenn(((EU#Personnel!Radiation<sup>I</sup> ≤ 2)|  
 (EU#Personnel!RespToxins<sup>I</sup> ≤ 2)|(EU#Personnel!Chemistry<sup>I</sup> ≤ 1))&  
 (AT#AbcSchutz<sup>I</sup>! = leer)&(ZuErkunden<sup>B</sup> = Falsch))

Dann[Wenn(APrim#AbcSchutz<sup>I</sup>! = leer)

Dann[Prioritätszahl<sup>F</sup> = Prioritätszahl<sup>F</sup> + 150;

Hinweis = Hinweise + P.Res.Mob.\$AID<sup>T</sup>\$#AbcSchutzPrim<sup>T</sup>];

Wenn(ASec#AbcSchutz<sup>I</sup> = leer)

Dann[Prioritätszahl<sup>F</sup> = Prioritätszahl<sup>F</sup> + 100;

Hinweis = Hinweise + P.Res.Mob.\$AID<sup>T</sup>\$#AbcSchutzSec<sup>T</sup>]

]

~ Fähigkeit : Hubrettungsfahrzeug

Wenn((GebHöhe<sup>F</sup> > 5)&(EU#RettungshöheAnzahl<sup>I</sup> < 1)&  
 (AT#Rettungshöhe<sup>F</sup>! = leer)&(ZuErkunden<sup>B</sup> = Falsch))

Dann[Höhenrelation<sup>F</sup> = GebHöhe<sup>F</sup> / AT#Rettungshöhe<sup>F</sup>;

Wenn((Höhenrelation<sup>F</sup> > 0,5)&(Höhenrelation<sup>F</sup> ≤ 1))

Dann[Prioritätszahl<sup>F</sup> = Prioritätszahl<sup>F</sup> + (500 + 100 \* Höhenrelation<sup>F</sup>);

Wenn((Höhenrelation<sup>F</sup> < 1,5)&(Höhenrelation<sup>F</sup> > 1))

Dann[Prioritätszahl<sup>F</sup> = Prioritätszahl<sup>F</sup> + (500 + 100 \* (2 - Höhenrelation<sup>F</sup>));

Hinweise<sup>T</sup> = Hinweise<sup>T</sup> +

P.Res.Mob.\$AID<sup>T</sup>\$#Rettungshöhe<sup>C</sup>{GebHöhe, AT#Rettungshöhe<sup>T</sup>}]

]

~ Fähigkeit : Unterstützungsfahrzeug

Wenn((AT#Einsatzleitwagen<sup>I</sup>! = leer)&(EU#LöschkapaAnzahl<sup>I</sup> > 1)&  
 (EU#Einsatzleitwagen.Summe<sup>I</sup> < EU#LöschkapaAnzahl<sup>I</sup>))

Dann[Prioritätszahl<sup>F</sup> = Prioritätszahl<sup>F</sup> + 300; Hinweise<sup>T</sup> = Hinweise<sup>T</sup> +

P.Res.Mob.\$AID<sup>T</sup>\$#Einsatzleitwagen<sup>C</sup>{EU#LöschkapaAnzahl<sup>I</sup>}<sup>T</sup>]

~ Fähigkeit : Rettungsfahrzeug

Wenn(((EU#Persons!Fire<sup>I</sup> ≤ 2)|(EU#Persons!Chemistry ≤ 2)|

(EU#Persons!RespToxins<sup>I</sup> ≤ 2))&

(EU#AmbulanzUnterstützungAnzahl<sup>I</sup> < 1))

Dann[Wenn(APrim#AmbulanzUnterstützung! = leer)

Dann[Prioritätszahl<sup>F</sup> = Prioritätszahl<sup>F</sup> + 200;

Hinweise<sup>T</sup> = Hinweise<sup>T</sup> + P.Res.Mob.\$AID<sup>T</sup>\$#AmbulanzUnterstützungPrim];

```

Dann[Wenn(APrim#AmbulanzUnterstützung! = leer)
  Dann[PrioritätszahlF = PrioritätszahlF + 200;
  HinweiseT = HinweiseT +
  P.Res.Mob.$AIDT $#AmbulanzUnterstützungPrim];
Wenn(APrim#AmbulanzUnterstützung! = leer)
  Dann[PrioritätszahlF = PrioritätszahlF + 150;
  HinweiseT = HinweiseT + P.Res.Mob.$AIDT $#AmbulanzUnterstützungSec]
]
~ Distanz zum Einsatzgebiet
Wenn(DRelF ≥ 0,75)
Dann[HinweisT = HinweisT +
P.Res.Mob.$AIDT $#RelativDistanzSehrGeringC {$DResF $}T]
Wenn(DRelF < 0,75) & (DRelF ≥ 0,5)
Dann[HinweisT = HinweisT +
P.Res.Mob.$AIDT $#RelativDistanzGeringC {$DResF $}T]
Wenn(DRelF < 0,5) & (DRelF ≥ 0,25)
Dann[HinweisT = HinweisT + P.Res.Mob.$AIDT $#RelativDistanzGrossC {$DResF $}T]
Wenn(DRelF < 0,25)
Dann[HinweisT = HinweisT +
P.Res.Mob.$AIDT $#RelativDistanzSehrGrossC {$DResF $}T]
Ergebnis{PrioritätszahlF = PrioritätszahlF + 100 * DRelF}

```

---

#### 7.4.2.5. Ambulanzfahrzeuge und Behandlungsplätze - Verletzte Personen

Es gibt vielfältige Ansatzpunkte für die elektronische Unterstützung der Bewältigung eines *Massenanfalls von Verletzten (MANV)*. Verschiedene Arbeiten beschäftigen sich z. B. mit der Erfassung und der Verwaltung von Informationen zu den verletzten Personen (siehe [GPS<sup>+</sup>08, KRS<sup>+</sup>09]). Da nach einem Erdbeben die meisten Verletzten innerhalb oder in direkter Nähe von Gebäuden zu erwarten sind, fokussieren sich die hier vorgestellten Hilfestellungen auf die Zuordnung medizinischer Versorgungsressourcen zu Gebäuden. Die verwendeten Regeln lassen sich allerdings mit geringem Aufwand auch an andere Arten von Umweltobjekten adaptieren.

Das Vorgehen bei den Hilfestellungen unterscheidet sich in zwei Punkten entscheidend von dem bei Bränden oder der Rettung von Verschütteten: (1) Das primäre Ziel ist nicht die vollständige Versorgung des Gefahrenbereiches mit der höchsten Priorität. Stattdessen werden die Ressourcen, abhängig von ihrer Verfügbarkeit sowie der Anzahl von Verletzten (ggf. aufgeschlüsselt nach Triageklassen), gleichmäßig auf alle Bereiche verteilt. (2) Es gibt zwei unterschiedliche Optionen bei Hilfsmaßnahmen für Verletzte. Die Erste ist der Transport der Person in eine medizinische

Einrichtung. Dabei muss einerseits eine Transportressource für den Verletzten gewählt werden und andererseits die Einrichtung, in der er versorgt werden soll. Eine Alternative ist die Schaffung eines *Behandlungsplatzes (BHP)*, einer Infrastruktur für eine Grundversorgung vor Ort. Ein BHP ermöglicht eine sofortige Behandlung und entlastet die Kapazitäten medizinischer Einrichtungen. Im Gegenzug sind Ressourcen gebunden, die auch für den Transport einsetzbar wären. Außerdem wird mit seiner Rüstzeit ein bestimmter Zeitraum benötigt, bis ein BHP einsatzfähig ist. Eine Abwägung, ob er eingerichtet werden sollte, ist daher schwierig.

### Verletzte im Einsatzgebiet und ihre medizinische Versorgung

Gemeldete oder zu erwartende Verletzte und ihre Versorgungsmöglichkeiten, speziell aus dem Umkreis um einen Gefahrenbereich, sind die ausschlaggebenden Kriterien für die Planung der medizinischen Versorgung. Algorithmus 7.12 leitet die entsprechenden Daten aus den verfügbaren Fakten her. Um die Anzahl der Verletzten bei einem Gebäude zu bestimmen, dient die Regel  $R.Umw.Geb\#PersonenschadenAnzahl^R\{OID^T\}^{L(*)}$ . Sie greift dazu auf die in Unterunterabschnitt 6.3.2.2 aufbereiteten Fakten zurück. Ein Verletzter gilt so lange als behandlungsbedürftig, wie er sich nicht auf einem Behandlungsplatz befindet oder abtransportiert wurde. Die bloße Zuordnung einer Transportressource reicht nicht aus. Um diese trotzdem zu berücksichtigen, wird ermittelt, ob und wie viele Einheiten für Transportzwecke bereits zugewiesen sind. Außerdem bestimmt der Algorithmus die Kapazität von Behandlungsplätzen und Krankenhäusern, also Gebäuden mit der Eigenschaft  $E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\#\$BehandlungImprovisiert^I$  und  $E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\#\$BehandlungStationär^I$  im Umkreis. Im DMT umgesetzt wurde er in Java. Um aus der Fakten- und Wissensbasis referenzierbar zu sein, ist er dort unter dem Bezeichner  $C.Umw.Personen\#VerletzteImUmkreis^C\{OID^T, Radius^F\}^{L(*)}$  eingebettet.

---

#### Algorithmus 7.12 Vorauswertung Ressourcenzuordnung bei Verletzten

---

**Eingabe:** Die  $OID_{Gebäude}^T$  des zu prüfenden Gebäudes sowie der zu prüfende  $Radius^F$  in Metern.

**Ergebnis:** Anzahl der Gefahrenstellen mit Verletzten laut realen Meldungen ( $\#BetroffeneGebäude^I$ ) und Simulation ( $\#SimBetroffeneGebäude^I$ ). Die Anzahl der Verletzten aufgeteilt in Triageklassen aufgrund von Meldungen ( $\#T1^I \setminus T2^I \setminus T3^I \setminus T4^I$ ) und Simulationen ( $\#Sim \oplus T1^I \setminus T2^I \setminus T3^I \setminus T4^I$ ). Die Anzahl der Verletzten aller Klassen aufgrund von Meldungen ( $\#Geschädigte^I$ ) und Simulationen ( $\#SimGeschädigte^I$ ). Die Anzahl der Gebäude im Umkreis, denen bereits Ambulanzfahrzeuge zugewiesen wurden, ist in  $\#VersorgteGebäude^I$  abgelegt, die dadurch versorgten Personen in  $\#VersorgteVerletzte^I$ . Sollten sich im angegebenen Radius Behandlungsplätze oder Krankenhäuser befinden, wird deren Gesamtkapazität durch  $\#Behandlungsplatz^I$  bzw.  $\#BehandlungStationär^I$  und ihre Anzahl unter  $\#Versorgungsgebäude^I$  abgelegt.

#### Vorbereitung - Erstelle Gebäudeliste

1. Setze  $BetroffeneGebäude^I = 0$ ,  $SimBetroffeneGebäude^I = 0$ ,  $T1^I = 0$ ,  $T2^I = 0$ ,  $T3^I = 0$ ,  $T4^I = 0$ ,  $SimT1^I = 0$ ,  $SimT2^I = 0$ ,  $SimT3^I = 0$ ,  $SimT4^I = 0$  sowie

$VersorgteGebäude^I = 0$ ,  $Versorgungsgebäude^I = 0$ ,  $VersorgteVerletzte^I = 0$ ,  
 $Behandlungsplatz^I = 0$ ,  $BehandlungStationär^I = 0$ .

2. Bestimme die Koordinaten des betrachteten Gebäudes  $A.Umw.Geb.OID^T_{Gebäude} \# PositionX^F \setminus Y^F \setminus Z^F$ .
3. Bestimme aufgrund ihrer Koordinaten die Liste der Gebäude  $NachbarGeb$ , deren euklidischer Abstand kleiner oder gleich  $Radius^F$  ist.

### Auswertung - Berechnung die Anzahl der Verletzten

Für jedes Elemente  $OID^T$  in  $NachbarGeb$ :

1. Wenn  $E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# Behandlungsplatz^I > 0$ : Setze  $Versorgungsgebäude^I = Versorgungsgebäude^I + 1$  und  $Behandlungsplatz^I = Behandlungsplatz^I + E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# Behandlungsplatz^I$ .
2. Wenn  $E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# BehandlungStationär^I > 0$ : Setze  $Versorgungsgebäude^I = Versorgungsgebäude^I + 1$  und  $BehandlungStationär^I = BehandlungStationär^I + E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# BehandlungStationär^I$ .
3. Wenn  $E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# KrankentransportAnzahl^I > 0$ : Setze  $VersorgteGebäude^I = VersorgungGebäude^I + 1$  und  $VersorgteVerletzte^I = VersorgungVerletzte^I + E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# KrankentransportSumme^I$ .
4. Setze  $Geschädigte^{L(*)} = R.Umw.Geb \# PersonenschadenAnzahl^R \{OID^T\}^{L(*)}$ .
5. Wenn  $Geschädigte \# HatGeschädigte = Wahr$  dann:
  - a) Wenn  $Geschädigte \# TriageDaten^B = Wahr$  und  $Geschädigte \# Glaubwürdigkeit^F < 0$ :  
 Setze  $SimT1^I = SimT1^I + Geschädigte \# T1^I$ ,  $SimT2^I = SimT2^I + Geschädigte \# T2^I$ ,  
 $SimT3^I = SimT3^I + Geschädigte \# T3^I$ ,  $SimT4^I = SimT4^I + Geschädigte \# T4^I$  und  
 $SimBetroffeneGebäude^I = SimBetroffeneGebäude^I + 1$ .
  - b) Wenn  $Geschädigte \# TriageDaten^B = Wahr$  und  $Geschädigte \# Glaubwürdigkeit^F > 0$ :  
 Setze  $T1^I = T1^I + Geschädigte \# T1^I$ ,  $T2^I = T2^I + Geschädigte \# T2^I$ ,  $T3^I = T3^I + Geschädigte \# T3^I$ ,  
 $T4^I = T4^I + Geschädigte \# T4^I$  und  $BetroffeneGebäude^I = BetroffeneGebäude^I + 1$ .
  - c) Wenn  $Geschädigte \# TriageDaten^B = Falsch$  und  $Geschädigte \# Glaubwürdigkeit^F < 0$ :  
 Setze  $SimGeschädigte^I = SimGeschädigte^I + Geschädigte \# Geschädigte^I$  und  
 $SimBetroffeneGebäude^I = SimBetroffeneGebäude^I + 1$ .
  - d) Wenn  $Geschädigte \# TriageDaten^B = Falsch$  und  $Geschädigte \# Glaubwürdigkeit^F > 0$ :  
 Setze  $Geschädigte^I = Geschädigte^I + Geschädigte \# Geschädigte^I$  und  
 $BetroffeneGebäude^I = BetroffeneGebäude^I + 1$ .

---

Die Anzahl der Verletzten in einem Gebäude beruht auf Beobachtungen, wobei sich diese in Detailgrad und Glaubwürdigkeit unterscheiden können. Idealerweise ist eine Erfassung in Triageklassen verfügbar, bei der die Klassen  $T0$  und  $T5$  aus der Summe herausfallen, da für die betrachtete Fragestellung nur verletzte Personen berücksichtigt werden. Ist nur die Gesamtzahl der Verletzte bekannt und liegt ein

struktureller Schaden vor, erfolgt eine Schätzung der Personen pro Triageklasse über die Regel  $R.Umw.Geb\#ProgStrukturschadenTriage^R\{OID^T, Anzahl^I\}^{L(*)}$ . Gibt es keine Informationen zu Gebäudeschäden, wird die Gesamtzahl der Verletzten genutzt und anhand von Werten aus der Literatur auf die Triageklassen verteilt (vgl. dazu [Pos03]).<sup>11</sup>

---

**Regeln 7.15**  $R.Umw.Geb\#PersonenschadenAnzahl$

---

$R.Umw.Geb\#PersonenschadenAnzahl^R\{OID^T\}^{L(*)}$   
*Default*{ $FU^{L(*)} = F.Umw.Geb.\$OID^T\$^{L(*)}$ ;  
 $PT^R\{OID^T, Anzahl^I\}^{L(*)} =$   
 $R.Umw.Geb\#ProgStrukturschadenTriage^R\{OID^T, Anzahl^I\}^{L(*)}$ ;  
 $\sim$  Rückgabewerte  
 $TriageDaten = Wahr$ ;  $Geschädigte^I = 0$ ;  
 $T1 = 0$ ;  $T2 = 0$ ;  $T3 = 0$ ;  $T4 = 0$ ;  
 $Glaubwürdigkeit^F = 0$ ;  $Abgeleitet^B = Falsch$ ;  
 $HatGeschädigte = Falsch$ }  
 $\sim$  Bestimme Verletzte  
*Wenn*( $FU\#PersonenschadenGlaubwürdigkeit^F \geq$   
 $FU\#PersonenschadenPersonenGeschädigtGlaubwürdigkeit^F$ )  
*Dann*[ $T1 = FU\#PersonenschadenT1Erwartet^I$ ;  
 $T2 = FU\#PersonenschadenT2Erwartet^I$ ;  
 $T3 = FU\#PersonenschadenT4Erwartet^I$ ;  
 $T4 = FU\#PersonenschadenT4Erwartet^I$ ;  
 $Glaubwürdigkeit^F = FU\#PersonenschadenGlaubwürdigkeit^F$ ;  
 $Abgeleitet^B = FU\#PersonenschadenAbgeleitet^F$ ]  
*Sonst*[ $Glaubwürdigkeit^F = FU\#PersonenschadenPersonenGeschädigtGlaubwürdigkeit^F$ ;  
 $Geschädigte^I = FU\#PersonenschadenPersonenGeschädigtAnzahl^I$ ;  
 $Abgeleitet^B = FU\#PersonenschadenPersonenGeschädigtAbgeleitet^F$ ;  
 $TriageDaten = Falsch$ ;  
*Wenn*(( $EF.\$OID^T\#\$StrukturschadenSchadensklasse > 2$ )&  
( $EF.\$OID^T\#\$StrukturschadenGlaubwürdigkeit > 40$ ))  
*Dann*[ $T1 = PT^R\{OID^T, Geschädigte^I\}\#T1^I$ ;  
 $T2 = PT^R\{OID^T, Geschädigte^I\}\#T2^I$ ;  
 $T3 = PT^R\{OID^T, Geschädigte^I\}\#T3^I$ ;  
 $T4 = PT^R\{OID^T, Geschädigte^I\}\#T4^I$ ]

---

<sup>11</sup>Laut [Pos03] ist eine typische Verteilung:  $T1 = Verletzte * 0, 2$ ;  $T2 = Verletzte * 0, 2$ ;  $T3 = Verletzte * 0, 4$ ;  $T4 = Verletzte * 0, 2$

```

    Sonst[T1 = GeschädigteI * 0, 2;
      T2 = GeschädigteI * 0, 2;
      T3 = GeschädigteI * 0, 4;
      T4 = GeschädigteI * 0, 2]
    ]
  ]
Wenn(T1 + T2 + T3 + T4 + GeschädigteI > 0)
Dann[HatGeschädigte = Wahr]
Ergebnis{}

```

---

### Allgemeine Hinweise

Eine Option der Versorgung verletzter Personen ist, die Kapazitäten direkt vor Ort aufzubauen. Vorgaben für die Bildung eines Einsatzabschnitts zur Bewältigung eines MANV, gibt es im deutschen Zivilschutz in Form von Konzepten für *Behandlungsplätze (BHP)* (vgl. [BBK06, ABD<sup>+</sup>06]). Ein BHP besteht aus einer *Patientenablage*, in der eine Erstaufnahme der Verletzten erfolgt, einem *Sichtungsbereich*, dem *Behandlungsbereich*, der Plätze für die Versorgung abhängig von der Triageklasse bereitstellt, sowie dem *Patiententransport*. Letzterer koordiniert den Transport von Patienten in weiterführende medizinische Versorgungseinrichtungen, falls eine Versorgung vor Ort nicht möglich ist. Die Kapazität eines BHP reicht von 25 bis 100 Verletzten pro Stunde. Er bindet dafür langfristig umfangreiche Ressourcen und benötigt Zeit für die Einrichtung. Die Fragestellung, ob ein BHP oder der Transport der Verletzten effizienter ist, ist komplex und weitreichend. Komplex vor allem deshalb, weil bestimmte Faktoren durch den Softwareagenten schwer zu bewerten sind. Ein Beispiel ist die Frage nach einem passenden Standort, der genügend Raum für den Aufbau eines Behandlungsplatzes bietet und sich einerseits nah am betrachteten Gefahrenbereich befinden sollte aber andererseits sicher sein muss. Um eine durchdachte Entscheidung treffen zu können, muss der menschliche Nutzer möglichst umfassend informiert sein. Der Agent bietet für die Frage nach einem BHP keine Handlungsempfehlung, allerdings umfangreiche Informationen und Hinweise.

Ob ein BHP überhaupt sinnvoll erscheint, ist abhängig von der Anzahl der betroffenen Personen und den im Umkreis verfügbaren Behandlungskapazitäten. Die Regel  $C.Umw.Personen\#VerletzteImUmkreis^C\{OID^T, Radius^F\}^I$  wird in einem Radius von 500 m, 1.000 m und 1.500 m um den Gefahrenbereich angewendet. Überschreitet die Anzahl der Personen ohne Versorgung im Radius von 1.000 m einen Schwellwert von 50,<sup>12</sup> ist dies ein Indiz dafür, dass ein BHP effizient sein könnte. Bei ausreichenden Kapazitäten in Krankenhäusern oder BHPs im Umkreis

<sup>12</sup>Dieser Wert ist ein Anhaltspunkt dafür, dass eine MANV vorliegt (siehe [BBK06]).

erscheint dies dagegen nicht als sinnvolle Option. Um die Lage für den Nutzer darzustellen, werden ihm für die verschiedenen Radian Hinweise bezüglich der Anzahl der Verletzten im Vergleich mit der Kapazität der verfügbaren Versorgungseinrichtungen angezeigt. Die Beurteilung für diese Hinweise erfolgt in der Regel  $R.Res.Mob\#RettungskräfteHinweise^R\{OID^T, AID^T\}^{L(*)}$ . Sie weist außerdem auf mögliche Risiken für Ressourcen am Einsatzort hin und gibt Empfehlungen, ob und wie Rettungskräfte vor Ort agieren sollten. Besteht mit einer hohen Glaubwürdigkeit ein reales Risiko von mindestens einem mittleren Gefahrenpotenzial, sollte keine Behandlung vor Ort, sondern ein direkter Abtransport der Verletzten erfolgen. Liegt am Einsatzort ein schwer wahrnehmbares Gefahrenpotenzial für die Rettungskräfte vor, wie es von Strahlung oder Atemgiften ausgeht, sollten Transporte nur unter speziellen Schutzvorkehrungen durchgeführt werden.

---

**Regeln 7.16**  $R.Res.Mob\#RettungskräfteHinweise$

---

$R.Res.Mob\#RettungskräfteHinweise^R\{OID^T, AID^T\}^{L(*)}$   
 $Default\{FU^{L(*)} = F.Umw.Geb.\$OID_i^T\$^{L(*)};$   
 $EU^{L(*)} = E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\$^{L(*)};$   
 $UKlein^{L(*)} = C.Umw.Personen\#VerletzteImUmkreis^C\{OID^T, 500\}^{L(*)};$   
 $UMittel^{L(*)} = C.Umw.Personen\#VerletzteImUmkreis^C\{OID^T, 1000\}^{L(*)};$   
 $UGross^{L(*)} = C.Umw.Personen\#VerletzteImUmkreis^C\{OID^T, 1500\}^{L(*)};$   
 $ZuVersorgen^I = UMittel\#T1^I + UMittel\#T2^I +$   
 $UMittel\#T3^I - UMittel\#VersorgteVerletzte^I;$   
 $\sim$  Rückgabewerte  
 $Hinweis^T = leer; Behandlungsplatz^B = Falsch$   
 $MittleresEinsatzRisiko^B = Falsch;$   
 $HohesEinsatzRisiko^B = Falsch;$   
 $EinsatzRisikoAbgeleitet^B = Falsch\}$   
 $\sim$  Nicht abgeleitete Risiken  
 $Wenn((EU\#Personnel!FireGlaubwürdigkeit^F > 40)\&$   
 $(EU\#Personnel!Fire^B < 3))\&$   
 $(EU\#Personnel!FireAbgeleitet^B = Falsch))$   
 $Dann[Hinweis^T = Hinweis^T + EU\#Personnel!FireHinweis^T;$   
 $MittleresEinsatzRisiko^B = Wahr]$   
 $Wenn((EU\#Personnel!ChemistryGlaubwürdigkeit^F > 40)\&$   
 $\dots$   
 $Wenn((EU\#Personnel!ExplosionGlaubwürdigkeit^F > 40)\&$   
 $\dots$   
 $Wenn(MittleresEinsatzRisiko^B = Wahr)$

Dann[ $Hinweis^T = Hinweis^T + P.Res.Mob.\$AID^T\$\#$   
 $RettungskräfteNurAbtransportEmpfohlen^T$ ]  
 ~ Nicht abgeleitete Risiken – Strahlung&Atemgifte  
 Wenn( $(EU\#Personnel!RadiationGlaubwürdigkeit^F > 40)\&$   
 $(EU\#Personnel!Radiation^B < 3)\&$   
 $(EU\#Personnel!RadiationAbgeleitet^B = Falsch)$ )  
 Dann[ $Hinweis^T = Hinweis^T + EU\#Personnel!RadiationHinweis^T$ ;  
 $HohesEinsatzRisiko^B = Wahr$ ]  
 Wenn( $(EU\#Personnel!RespToxinGlaubwürdigkeit^F > 40)\&$   
 ...  
 Wenn( $HohesEinsatzRisiko^B = Wahr$ )  
 Dann[ $Hinweis^T = Hinweis^T + P.Res.Mob.\$AID^T\$\#$   
 $RettungskräfteNurGeschütztEmpfohlen^T$ ]  
 ~ Abgeleitete Risiken  
 Wenn( $(EU\#Personnel!Fire^B < 3)\&$   
 $(EU\#Personnel!FireAbgeleitet^B = Wahr)$ )  
 Dann[ $Hinweis^T = Hinweis^T + EU\#Personnel!FireHinweis^T$ ;  
 $EinsatzRisikoAbgeleitet^B = Wahr$ ]  
 Wenn( $(EU\#Personnel!Chemistry^F < 3)\&$   
 ...  
 ...  
 Wenn( $EinsatzRisikoAbgeleitet^B = Wahr$ )  
 Dann[ $Hinweis^T = Hinweis^T +$   
 $P.Res.Mob.\$AID^T\$\#RettungskräfteLagePrüfen^T$ ]  
 ~ Ist Behandlungsplatz sinnvoll  
 Wenn( $UGross\#Behandlungsplatz^I > 0$ )  
 Dann[ $Hinweis^T = Hinweis^T + P.Res.Mob.\$AID^T\$\#$   
 $BHPUMkreis^C\{UGross\#Behandlungsplatz^I\}^T$ ]  
 Wenn( $UGross\#BehandlungStationär^I > 0$ )  
 Dann[ $Hinweis^T = Hinweis^T + P.Res.Mob.\$AID^T\$\#$   
 $BStatUmkreis^C\{UGross\#BehandlungStationär^I\}^T$ ]  
 Wenn( $(UGross\#Behandlungsplatz^I + UGross\#BehandlungStationär^I$   
 $= 0)\&(ZuVersorgen^I > 50)$ )  
 Dann[ $Behandlungsplatz^B = Wahr$ ;  
 $Hinweis^T = Hinweis^T + P.Res.Mob.\$AID^T\$\#$   
 $Behandlungsplatz^C\{ZuVersorgen^I, BetroffeneGebäude^I\}^T$ ;  
 Wenn( $VersorgteGebäude^I > 0$ )

$Dann[Hinweis^T = Hinweis^T + P.Res.Mob.\$AID^T\$ \#$

$VersorgteGebäude^C \{VersorgteGebäude^I\}^T]$

$Wenn(ZuVersorgen^I > 0)$

$Dann[Hinweis^T = Hinweis^T + P.Res.Mob.\$AID^T\$ \#$

$VerletzteUKlein^C \{UKlein\#T1 + UKlein\#T2 + UKlein\#T3\}^T$

$Hinweis^T = Hinweis^T + P.Res.Mob.\$AID^T\$ \#$

$VerletzteUMittel^C \{UMittel\#T1 + UMittel\#T2 + UMittel\#T3\}^T$

$Hinweis^T = Hinweis^T + P.Res.Mob.\$AID^T\$ \#$

$VerletzteUHoch^C \{UHoch\#T1 + UHoch\#T2 + UHoch\#T3\}^T]$

$Ergebnis\{\}$

---

### Ressourcenzuordnung

In  $R.Res.Mob\#RettungskräfteHinweise^R \{OID^T, AID^T\}$  werden allgemeine textuelle Hilfestellungen zu Gefahrenquellen an der Einsatzstelle und zu dem Einsatz eines BHP ermittelt. Die konkrete Unterstützung bei der Ressourcenzuordnung besteht, wie bei Feuern und Gebäudeeinstürzen, aus einer Prioritätsliste. Deren Ordnung basiert auf dem Wert  $Prioritätszahl^F$  als Ergebnis von  $R.Res.Mob\#AmbulanzPrioritätszahl^R \{RID^T, CLASS^T, OID_{Quelle}^T, \dots\}^{L(*)}$ . Die Beurteilung der Regel zielt auf eine optimale Versorgung aller aktuell bekannten Verletzten, unter Berücksichtigung der bereits versorgten Personen und der noch verfügbaren Transportkapazitäten. Bei der Auswahl eines Gefahrenbereiches zur Ressourcenzuordnung, werden die entsprechenden Kennwerte immer von Neuem bestimmt:

- Analog zu Algorithmus 7.12 wird für alle Gebäude in  $Ext.Schäden^{Personenschaden}$  die Summe der dort vermuteten Verletzten bestimmt. Die ermittelten Werte sind in den Termen  $E.Umw.Geb.\$AID^T\$ \#T1 \setminus T2 \setminus T3 \setminus T4 \oplus Summe^I$  sowie  $E.Umw.Geb.\$AID^T\$ \#Sim \oplus T1 \setminus T2 \setminus T3 \setminus T4 \oplus Summe^I$  abgelegt.
- Die Summe der Werte der Schlüssel-Wert-Liste  $Ext.FähigkeitPrimär\#Krankentransport^{L(*)}$  ergibt die aktuell verfügbare Kapazität an Transportplätzen  $E.Res.Mob.\$AID^T\$ \#KrankentransportSumme^I$ . Die Summe der bereits eingesetzten Transportkapazitäten für Verletzte ist im Term  $E.Umw.Geb.\$AID^T\$ \#VersorgteVerletzte^I$  gespeichert.
- Analog dazu bestimmen die Summe des Attributes  $A.Res.Stat.HOSPITAL.\$RID^T\$ \#BettenAnzahl^I$  über alle Ressourcen vom Typ  $HOSPITAL$  die Anzahl der freien Plätze in Versorgungseinrichtungen  $E.Res.Mob.\$AID^T\$ \#BettenSumme^I$  und die Summe über  $F.Res.Stat.HOSPITAL.\$RID^T\$ \#BettenBelegt^I$  die Anzahl der bereits belegten Plätze.

Durch die Regel werden jeweils Tupel aus einer Transporteinheit und einer Versorgungseinrichtung als ihrem Ziel bewertet. Zusätzlich zu den bereits vorgestellten Regeln zur Ressourcenzuordnung sind nicht nur die Distanzwerte für die An-

fahrt der Transporteinheit zur Einsatzstelle  $DRes_{Quelle}^F$  bzw.  $DMin_{Quelle}^F$  nötig, sondern auch selbiges für die Distanz von der Einsatzstelle zur Versorgungseinrichtung  $DRes_{Ziel}^F$  bzw.  $DMin_{Ziel}^F$ . Je nach Größe des Einsatzgebietes und der Anzahl der Einheiten ergeben sich viele Kombinationsmöglichkeiten aus Tupeln mobiler Transporteinheit  $RID^T$  und stationärer Versorgungseinrichtungen  $RID_{Ziel}^T$ . Eine Einschränkung auf sinnvolle Kombinationen ergibt sich durch Algorithmus 7.13, durch den eine *Prioritätszahl*<sup>F</sup> nur für Kombinationen aus den nächstgelegenen Versorgungseinrichtungen mit ausreichend Kapazitäten  $\hat{H}$  und den verfügbaren Ressourcen *Ext.RessourcenVerfügbar* ermittelt wird.

---

### Algorithmus 7.13 Vorauswahl der Versorgungseinrichtungen

---

**Eingabe:** Die  $OID_{Gebäude}^T$  des zu prüfenden Gebäudes.

**Ergebnis:** In aufsteigender Distanz zur Einsatzstelle sortierte Liste von Versorgungseinrichtungen  $\hat{H}$ .

#### Vorbereitung

1. Ermittle alle Ressourcen  $H$  von Typ *Res.Stat.HOSPITAL.\$RID^T\$* aus der Schlüsselwert-Liste aller für einen Gefahrenbereich verfügbaren Ressourcen *Ext.AktiveSchäden#OID<sub>Quelle</sub><sup>T</sup>*.
2. Sortiere die Elemente in  $H$  nach ihrer Distanz zur Einsatzstelle.
3. Erzeuge eine leere Liste  $\hat{H}$  und setze die Variable für die verfügbaren Betten  $V = 0$ .
4. Bestimme den maximalen Bedarf an Betten  $B = \sum_{n=1}^4 R.Umw.Geb\#PersonenschadenAnzahl^R\{OID^T\}\#T\$n\$^I$ .

#### Auswertung

1. Entnimm das vorderste Element mit  $RID^T$  aus  $H$ .
2. Bestimme die Kapazität  $K = A.Res.Stat.HOSPITAL.$RID^T\$\#BettenAnzahl^I - F.Res.Stat.HOSPITAL.$RID^T\$\#BettenBelegt^I$ .
3. Wenn  $K > 0$ : Füge  $OID^T$  an die Liste  $\hat{H}$  an; bestimme die neuen verfügbaren Betten  $V = V + K$ .
4. Wenn  $V < B$ : Zurück zu 1.

---

Eine Zuordnung von Transportressourcen sieht die Regel nicht vor, falls keine glaubwürdigen Beobachtungen zu der Anzahl der Verletzten vorliegen oder ein BHP sinnvoller erscheint. Basiert die Anzahl der Verletzten auf einer unbestätigten Vermutung, wird vorgeschlagen, zunächst Ressourcen zur genaueren Erkundung zu entsenden. Eine entsprechende Einheit erhält in diesem Fall die höchste *Prioritätszahl*<sup>F</sup>. Bewertet  $R.Res.Mob\#RettungskräfteHinweise^R\{OID^T, AID^T\}^{L(*)}$  einen Behandlungsplatz als sinnvoll und sind dafür genügend Ressourcen verfügbar, wird eine entsprechend bezeichnete „virtuelle“ Ressource in die Vorschlagsliste aufgenommen.

Sie ermöglicht dem Anwender die schnelle und einfache Zuordnung der für den Aufbau eines BHP notwendigen Einheiten. Dazu ist in der Faktenbasis eine Liste abgelegt, die die Fähigkeiten der Ressourcen beschreibt, die für einen Aufbau eines entsprechend dimensionierten BHP notwendig sind.<sup>13</sup> Anhand ihrer Fähigkeiten werden aus den verfügbaren Kräften die passenden Einheiten mit den kürzesten Anfahrtswegen ausgesucht. Der dafür genutzte Algorithmus ist unter dem Bezeichner  $C.Res.Mob\#Behandlungsplatz^C\{OID^T, AID^T\}^{L(*)}$  in die Fakten- und Wissensbasis eingebettet. Er hat als Ergebnis eine Liste mit den Referenzen auf die ausgesuchten Ressourcen. Diese ist leer, falls nicht ausreichend qualifizierte Einsatzkräfte verfügbar sind.

Ein Behandlungsplatz weist eine eigenständige Transportorganisation auf (vgl. [BBK06]). Sie koordiniert die Einheiten zum Transport von Verletzten, die nicht vor Ort behandelt werden können oder danach eine weiterführende Behandlung benötigen. Die Organisation aller übrigen Transporte verantwortet weiterhin der Entscheidungsträger. Zur Unterstützung dieser logistischen Herausforderung bietet  $R.Res.Mob\#AmbulanzPrioritätszahl$  Vorschläge und Hinweise für die Auswahl von Ressourcen und von medizinischen Einrichtungen, in die Verletzte verbracht werden sollten. Reservebildung spielt hierbei keine Rolle, da die Transporteinheiten nach absehbarer Zeit wieder frei werden.

Falls die Gesamtzahl aller Verletzten  $\sum_{n=1}^4 E.Umw.Geb.\$AID^T\#\$T\$n\$Summe^I$  abzüglich der eingesetzten Transportkapazität  $E.Umw.Geb.\$AID^T\#\$VersorgteVerletzte^I$  die noch verfügbare Kapazität  $E.Res.Mob.\$AID^T\#\$KrankentransportSumme^I$  nicht übersteigt, können alle Verletzten versorgt werden. Ist dies nicht der Fall, erfolgt die Ressourcenzuordnung in zwei Phasen. In einer ersten Iteration werden nur die Triageklassen berücksichtigt, für deren vollständige Versorgung genügend Kapazitäten vorhanden ist. Dabei gilt eine absteigende Priorität der Klassen mit  $T1$  vor  $T2$  vor  $T4$  vor  $T3$ . Sobald die Restkapazität nicht mehr für die vollständige Versorgung einer Klasse ausreicht, wird in einer zweiten Iteration die verbliebene Kapazität gleichmäßig auf die Verletzten verteilt.

Das Vorgehen soll an einem Beispiel erläutert werden. Angenommen es sind genügend Ressourcen verfügbar, um die Verletzten in den Triageklassen  $T1$ ,  $T2$  und  $T4$  zu versorgen, dann empfiehlt der ADVISOR-Agent in der ersten Iteration für jedes Gebäude eine Liste von Einheiten, bei denen die Summe ihrer Transportkapazität der Summe der Verletzten in den Triageklassen  $T1$ ,  $T2$  und  $T4$  im gewählten Gebäude entspricht. Danach werden die restlichen Ressourcen gleichmäßig auf die Verletzten der Klasse  $T3$  verteilt. Dies geschieht anhand der Funktion  $C.Res.Mob\#Restkapa^C\{OID^T, TK_{min}^T, TK_{opt}^T\}^I = |(E.Res.Mob.\$AID^T\#\$KrankentransportSumme^I + E.Umw.Geb.\$AID^T\#\$VersorgteVerletzte^I -$

---

<sup>13</sup>Die entsprechende List ist unter  $P.Res.Behandlungsplatz.\$AID\$$  abgelegt. Die Schlüssel haben die Form  $R\$n\$!\$F\$$  mit  $n \in \mathbb{N}$ . Sie bestehen aus zwei Teilen.  $R\$n\$$  steht für die n-te Ressource in der Liste und  $F$  für den Bezeichner einer Fähigkeit, deren Mindestwert in dem Term abgelegt ist.

$\%SUMME\{T1, \dots, \$TK_{min}^T\$ \}^F * \frac{R.Umw.Geb\#PersonenschadenAnzahl^R\{\$OID^T\}\#\$TK_{opt}^T\$^I}{E.Umw.Geb.\$AID^T\#\$TK_{opt}^T\$Summe^I}$ .  
 In vorliegenden Beispiel ergibt sich die Anzahl der Einheiten aus der Regel  $C.Res.Mob\#Restkapa^C\{OID^T, 'T3'\}^I$ .

Auf Basis der Transportkapazitäten, die für ein Gebäude empfohlen werden, erfolgt die Empfehlung konkreter Tupel aus Transporteinheit und Versorgungseinrichtungen. Sie ist in Form einer Prioritätsliste umgesetzt, deren Ordnung durch den Anfahrtsweg der Ressourcen  $DRes_{Quelle}^F$  und den Zustand der Patienten bestimmt wird. So ist ein *Krankentransporter (KTW)* für Triageklassen größer  $T1$  ausreichend, während für die Klasse  $T1$  eine Ausstattung für Intensivversorgung zu präferieren ist, wie sie ein *Rettungswagen (RTW)* bietet. Bei der Wahl einer medizinischen Versorgungseinrichtung als Ziel sind ihre Distanz zur Gefahrenstelle  $DRes_{Ziel}^F$  und die freie Kapazität relevant. Es wird u. a. auch berücksichtigt, dass die Anzahl der verfügbaren Betten nicht unter der Kapazität der Transporteinheit liegt. Der Wert  $Prioritätszahl^F$  als Ergebnis der Regel beurteilt, wie gut die gegebene Transportressource mit  $RID^T$  und die Versorgungseinrichtung mit  $RID_{Ziel}^T$  den Anforderungen der verbliebenen Verletzten im Gefahrenbereich  $OID_{Quelle}^T$  entsprechen.

---

**Regeln 7.17** R.Res.Mob#AmbulanzPrioritätszahl
 

---

$R.Res.Mob\#AmbulanzPrioritätszahl^R\{RID^T, CLASS^T, AID^T, OID_{Quelle}^T, DRes_{Quelle}^F, DMin_{Quelle}^F, RID_{Ziel}^T, DRes_{Ziel}^F, DMin_{Ziel}^F\}^{L(*)}$   
 $Default\{FU^{L(*)} = F.Umw.Geb.\$OID^T\}^{L(*)};$   
 $EU^{L(*)} = E.Umw.Geb.\$OID^T\$\$AID^T\}^{L(*)};$   
 $EU^{L(*)} = E.Umw.Geb.\$AID^T\}^{L(*)};$   
 $ERU^{L(*)} = E.Res.Mob.\$AID^T\}^{L(*)};$   
 $AT^{L(*)} = C.Res.Ausstattung\#Fähigkeiten^C\{CLASS^T, RID^T\}^{L(*)};$   
 $AT_{Ziel}^{L(*)} = C.Res.Ausstattung\#Fähigkeiten^C\{'HOSPITAL', RID^T\}^{L(*)};$   
 $SchadenGeb^{L(*)} = R.Umw.Geb\#PersonenschadenAnzahl^R\{OID^T\}^{L(*)};$   
 $FreieBetten^I = AT_{Ziel}\#Betten.Anzahl^I -$   
 $F.Res.Stat.HOSPITAL.\$RID_{Ziel}^T\#\$BettenBelegt^I;$   
 $DRel_{Quelle}^F = 1/(\$DRes_{Quelle}^F\$\$DMin_{Quelle}^F\);$   
 $DRel_{Ziel}^F = 1/(\$DRes_{Ziel}^F\$\$DMin_{Ziel}^F\);$   
 ~ Rückgabewerte  
 $Hinweis^T = leer; Prioritätszahl^F = 0;$   
 ~ Berechnungsvariablen  
 $ZuErkunden^B = Falsch; T1 = 0; T2 = 0; T3 = 0; T4 = 0;$   
 ~ Vorerkundung bei unsicherer Lage  
 $Wenn(((SchadenGeb\#Abgeleitet^B = Wahr)|(SchadenGeb\#Glaubwürdigkeit < 20))\&(EU\#Anzahl^I < 1))$

$Dann[ZuErkunden^B = Wahr; Hinweis^T = Hinweis^T +$   
 $P.Res.Mob.\$AID^T\$ \# UnsichereInformationslage^T]$   
 $Wenn((AT\#Vorauserkundung^I! = leer) \& (ZuErkunden^B = Wahr))$   
 $Dann[Wenn(APrim\#Vorauserkundung^I! = leer)$   
 $Dann[Prioritätszahl^F = Prioritätszahl^F + 750;$   
 $Hinweis^T = Hinweis^T + P.Res.Mob.\$AID^T\$ \# VorauserkundungPrim^T];$   
 $Wenn(ASec\#Vorauserkundung^I! = leer)$   
 $Dann[Prioritätszahl^F = Prioritätszahl^F + 700; Hinweis^T = Hinweis^T +$   
 $P.Res.Mob.\$AID^T\$ \# VorauserkundungSec^T]$   
 $]$   
 $\sim$  *Behandlungsplatz anbieten wenn sinnvoll und möglich*  
 $Wenn((R.Res.Mob\#RettungskräfteHinweise\#$   
 $Behandlungsplatz^B = Wahr) \& (AT\#Behandlungsplatz^I > 0))$   
 $Dann[Wenn(C.Res.Mob\#Behandlungsplatz^C \{OID^T, AID^T\}! = leer)$   
 $Dann[Hinweis^T = Hinweis^T + P.Res.Mob.\$AID^T\$ \# BHPRessourcen;$   
 $Prioritätszahl^F = Prioritätszahl^F + 600]$   
 $Sonst[Hinweis^T = Hinweis^T + P.Res.Mob.\$AID^T\$ \#$   
 $BHPRessourcenUnzureichend]$   
 $]$   
 $\sim$  *Bestimme bis zu welcher Triageklasse versorgt wird*  
 $Wenn(((EUA\#T1Summe^I - EUA\#VersorgteVerletzte^I) \leq$   
 $ERU\#KrankentransportSumme^I) \& ((EUA\#T1Summe^I +$   
 $EUA\#T2Summe^I - EUA\#VersorgteVerletzte^I) \geq$   
 $ERU\#KrankentransportSumme^I)))$   
 $Dann[T1 = SchadenGeb\#T1;$   
 $T2 = C.Res.Mob\#Restkapa^C \{OID_{Quelle}^T, 'T1', 'T2'\}^I;$   
 $T3 = 0; T4 = 0; Hinweis = Hinweis +$   
 $P.Res.Mob.\$AID^T\$ \# AmbAusreichendT1^C \{T1\}^T]$   
 $\dots$   
 $Wenn((EUA\#T1Summe^I + EUA\#T2Summe^I + EUA\#T3Summe^I +$   
 $EUA\#T4Summe^I - EUA\#VersorgteVerletzte^I) \leq$   
 $ERU\#KrankentransportSumme^I)$   
 $Dann[T1 = SchadenGeb\#T1; T2 = SchadenGeb\#T2;$   
 $T3 = SchadenGeb\#T3; T4 = SchadenGeb\#T4;$   
 $Hinweis = Hinweis + P.Res.Mob.\$AID^T\$ \#$   
 $AmbAusreichendT1bisT4^C \{T1 + T2 + T3 + T4\}^T]$   
 $\sim$  *Prüfe ob weitere Einheiten sinnvoll*

Wenn( $(EU \# KrankentransportSumme^I \geq (T1 + T2 + T3 + T4))$ )  
 Dann[ $Hinweis = Hinweis + P.Res.Mob.\$AID^T\$ \#$   
 $TransportkapitaAusreichend^C\{EU \# KrankentransportSumme^I\}^T]$   
 $\sim$  Fähigkeit : Transport von T1  
 Wenn( $(AT_{Ressource} \# IntensivPlätze^I > 0) \& (EU \# RTWPlatzSumme^I < T1)$ )  
 Dann[ $Hinweis = Hinweis + P.Res.Mob.\$AID^T\$ \#$   
 $MehrT1alsRTWC\{(T1 - EU \# IstRTWSumme^I)\}^T;$   
 $Prioritätszahl^F = Prioritätszahl^F + 100]$   
 $\sim$  Transportkapazität passend  
 Wenn( $(T1 + T2 + T3 + T4 - EU \# KrankentransportSumme^I) \leq$   
 $AT_{Ressource} \# Krankentransport^I)$ )  
 Dann[ $Hinweis = Hinweis + P.Res.Mob.\$AID^T\$ \#$   
 $PassendeKapazität^T; Prioritätszahl^F = Prioritätszahl^F + 50]$   
 $\sim$  Versorgungskapazität passend  
 Wenn( $AT_{Ressource} \# Krankentransport^I >$   
 $FreieBetten^I)$ )  
 Dann[ $Hinweis = Hinweis + P.Res.Stat.\$AID^T\$ \#$   
 $ZuWenigFreieBetten^T; Prioritätszahl^F = Prioritätszahl^F - 100]$   
 $\sim$  Distanz zum Einsatzgebiet  
 Wenn( $DRel_{Quelle}^F \geq 0.75$ )  
 Dann[ $Hinweis^T = Hinweis^T + P.Res.Mob.\$AID^T\$ \#$   
 $RelativDistanzSehrGering^C(\$DRes^F\$)^T]$   
 Wenn( $DRel_{Quelle}^F < 0,75$ ) & ( $DRel_{Quelle}^F \geq 0,5$ )  
 Dann[ $Hinweis^T = Hinweis^T + P.Res.Mob.\$AID^T\$ \# RelativDistanzGering^C(\$DRes^F\$)^T]$   
 Wenn( $DRel_{Quelle}^F < 0,5$ ) & ( $DRel_{Quelle}^F \geq 0,25$ )  
 Dann[ $Hinweis^T = Hinweis^T + P.Res.Mob.\$AID^T\$ \# RelativDistanzGross^C(\$DRes^F\$)^T]$   
 Wenn( $DRel_{Quelle}^F < 0,25$ )  
 Dann[ $Hinweis^T = Hinweis^T +$   
 $P.Res.Mob.\$AID^T\$ \# RelativDistanzSehrGross^C(\$DRes^F\$)^T]$   
 $\sim$  Distanz zur Versorgungseinrichtung  
 Wenn( $DRel_{Ziel}^F \geq 0.75$ )  
 Dann[ $Hinweis^T = Hinweis^T +$   
 $P.Res.Mob.\$AID^T\$ \# RelativDistanzEinrSehrGering^C(\$DRes^F\$)^T]$   
 Wenn( $DRel_{Ziel}^F < 0,75$ ) & ( $DRel_{Ziel}^F \geq 0,5$ )  
 Dann[ $Hinweis^T = Hinweis^T +$   
 $P.Res.Mob.\$AID^T\$ \# RelativDistanzEinrGering^C(\$DRes^F\$)^T]$

---

```

Wenn( $DRel_{Ziel}^F < 0,5$ )&( $DRel_{Ziel}^F \geq 0,25$ )
Dann[ $Hinweis^T = Hinweis^T +$ 
P.Res.Mob.$AID^T$#RelativDistanzEinrGrossC($DRes^F$)^T]
Wenn( $DRel_{Ziel}^F < 0,25$ )
Dann[ $Hinweis^T = Hinweis^T +$ 
P.Res.Mob.$AID^T$#RelativDistanzEinrSehrGrossC($DRes^F$)^T]
Ergebnis{ $Prioritätszahl^F = Prioritätszahl^F + 200 * DRel_{Quelle}^F + 200 * DRel_{Ziel}^F$ }

```

---

## 7.5. Unterstützung durch die Bereitstellung von Plänen

Die bisher vorgestellten aktiven Hilfestellungen der ADVISOR-Agenten arbeiten kooperativ mit dem Anwender zusammen, um Gefahrenbereiche zu priorisieren und ihnen Ressourcen zuzuweisen. Vor dem Hintergrund eines unvollständigen Wissens des Unterstützungssystems und der oft besseren Ergebnisse intuitiver Entscheidungen über rein analytische Modelle bei den bisher betrachteten Problemstellungen erscheint dieses Vorgehen als der beste Ansatz. Bei anderen Fragestellungen ist der Computer dem menschlichen Entscheider allerdings überlegen. In diesen Fällen ist es sinnvoller, eine vollständige Lösung durch den Rechner erarbeiten zu lassen. Die Bestimmung der Routen von Erkundungseinheiten ist ein Beispiel dafür. Um eine Übersicht über die Lage im Katastrophengebiet zu erhalten, ist es bei Katastrophenslagen üblich, Erkundungseinheiten auszuschicken. Ihr Ziel ist eine möglichst schnelle und umfassende Informationssammlung. Für diese Aufgabe können unterschiedlichste Arten von Ressourcen zum Einsatz kommen. Neben straßengebundenen Kräften sind auch fliegende Einheiten üblich.

Neben der herkömmlichen visuellen Inspektion lassen sich Daten auch automatisiert über elektronische Sensoren wie Laserscanner erfassen. Ein Beispiel für so ein Vorgehen bei Gebäudeschäden beschreibt Rehor [Reh07]. Autonome Drohnen eröffnen für diese Analyseform neue Möglichkeiten. Sie machen eine automatisierte Lageerfassung ohne größeren Koordinierungsaufwand durch Menschen möglich (siehe [OK12]). Das Ergebnis einer Erkundung durch fliegende Einheiten ist allerdings mit Unsicherheiten verbunden. Eine Inspektion durch bodengebundene Einheiten vor Ort ersetzt es nicht. Für beide Arten der Erkundung ist die Bestimmung der optimalen Route eine Herausforderung. Gerade bei bodengebundenen Kräften ist die Problemstellung so komplex, dass nur ein Computerprogramm eine gute Lösung in absehbarer Zeit ermöglicht. Die bei den ADVISOR-Agenten genutzten Methoden sind in den folgenden Abschnitten beschrieben.

### 7.5.1. Routenbestimmung für die Lagerfassung aus der Luft

Ein Vorgehen für die Bestimmung von Erkundungsrouten für fliegende Einheiten schlägt Fiedrich [Fie04] vor. Bei dem dafür zuständigen ADVISOR-Agenten wird eine abgewandelte Form angewendet. Anhand der verfügbaren Ressourcen und des Radius, in dem sie jeweils Beobachtungen erfassen können, lässt sich die Fläche bestimmen, die in einem vorgegebenen Zeitabschnitt untersucht werden kann. Auf dieser Basis lassen sich die Routen der verfügbaren Einheiten so über den Luftraum zu verteilen, dass die Erkundung in möglichst kurzer Zeit abgeschlossen ist. Berücksichtigt wird die Dauer, bis eine Einheit das zu erkundende Gebiet erreicht, ihre Geschwindigkeit bei der Erkundung sowie der Beobachtungsradius, den sie beim Überflug abdeckt. Das Vorgehen erfolgt in zwei Schritten. Zunächst wird für die verfügbaren Ressourcen die Mindestdauer einer Erkundung aus der Luft bestimmt.<sup>14</sup> Danach werden die Ressourcen ihren Erkundungsrouten zugeordnet.

#### 7.5.1.1. Route

Die zur Erkundung zur Verfügung stehenden Flugeinheiten  $R_i \in \{R_1, \dots, R_n\}$  sind charakterisiert durch ihre maximale Reisegeschwindigkeit  $v_i^{max}$ , die Geschwindigkeit während des Erkundungsfluges  $v_i$ , den Radius  $r_i$  den sie beim Überfliegen kontrollieren, sowie die Dauer  $t_i$ , bis sie startbereit sind. Zur Vereinfachung der Berechnung wird ein Parallelogramm  $P$  über das Einsatzgebiet gelegt, welches dieses mit minimaler Fläche  $F^P$  überdeckt. Die Zeit, die eine Ressource bis zum Einsatzgebiet benötigt  $T_i^{Initial}$ , ergibt sich aus der Zeit zur Startvorbereitung  $T_i^{Rüstzeit}$  sowie der Dauer des Anfluges  $T_i^{Anflug}$ . Letztere bestimmt sich aus der Distanz zwischen dem initialen Standort der Ressource, dem Flächenschwerpunkt von  $P$  sowie der Reisegeschwindigkeit der Einheit  $v_i^{max}$ . Die Fläche, die eine Ressource während eines Zeitintervalls  $t$  erkundet, ist  $e_i(t) = t(2v_i r_i)$ . Die zum Zeitintervall  $T$  erkundete Fläche ist  $E_i(T) = \begin{cases} 0 & \text{wenn } T_i^{Anflug} < T \\ e_i(T - T_i^{Initial}) & \text{sonst} \end{cases}$ .

Die Erkundungsrouten der Ressourcen sind Korridore mit der Breite  $r_i$ , die parallel zur Längskante des Parallelogramms geführt sind. Da die Dauer feststeht, ist die zurückgelegte Strecke abhängig von ihrer Geschwindigkeit. Der Endpunkt der Route einer Einheit stellt den Anfangspunkt für die Route einer anderen Einheit dar. Dies wird so lange fortgeführt, bis die Gesamtfläche  $F^P$  abgedeckt ist. Der Gesamtplan besteht aus dieser Aneinanderreihung von Routen der zur Erkundung eingesetzten Ressourcen. Die erkundete Fläche zu einem Zeitpunkt  $t$  ist somit  $F(t) = \sum_{i=1}^n E_i(t)$ .

Da sich der Erkundungsradius der Einheiten unterscheiden kann, kommt es zu Überdeckungen bei den Erkundungskorridoren. Eine weitere Abweichung ergibt sich dadurch, dass der Anfangspunkt der Teilrouten nicht auf dem für  $T_i^{Anflug}$  angenommenen Flächenschwerpunkt von  $P$  liegt. Zur Bestimmung der minimalen Zeit für

<sup>14</sup>Das Vorgehen bei der Berechnung der minimalen Dauer ist an das in [Fie04] angelehnt.

die Erkundung wird daher mit einem Aufschlag von 8 % und damit einer zu erkundenden Fläche von  $F^E = F^P * 1,08$  gerechnet. Der kürzeste Zeitraum  $T^0$ , bis zu dem eine Erkundung abgeschlossen sein kann, lässt sich abschätzen mit der Formel  $F^E = \sum_{i=1}^n E_i(T^0)$ . Bei der Bestimmung der Route müssen nur die Ressourcen berücksichtigt werden, für die gilt  $T_i^{Initial} < T^0$ . Die Route wird wie folgt bestimmt:

1. Bestimme aus  $R_i$  die noch nicht zugeordnete Ressource mit der kürzesten Anflugzeit auf den Startpunkt der nächsten Route.
2. Lege den Korridor fest, den die Einheit in der Zeit  $T^0$  überfliegt.
3. Solange  $F^P$  nicht durch die Route abgedeckt ist, beginne wieder mit 1. mit dem aktuellen Endpunkt als Startpunkt.

### 7.5.1.2. Spezialeinheiten

Sollte eine signifikante Anzahl von Einheiten mit speziellen Fähigkeiten für die Erkundung ausgerüstet sein, wie z. B. mit Infrarotortung zur sichereren Erkennung von Feuern oder Laserscannern zur genaueren Bestimmung struktureller Schäden, können eigene Erkundungsrouten nur für diese Spezialeinheiten bestimmt werden. Die Bezeichner der Fähigkeiten die spezialisierte Einheiten auszeichnen werden in *P.Res.Mob.\$AID^T\$#ErkundungSpezialisierung1\*  
*ErkundungSpezialisierung2* abgelegt, sie werden einem Pool von spezialisierten Erkundungseinheiten zugeordnet. Alle Einheiten ohne die Fähigkeiten werden in einem Pool mit allgemeinen Erkundungseinheiten gesammelt. Mit den Einheiten aus den zwei Pools jeweils eine Route zur Erkundung des gesamten Einsatzgebietes festgelegt. Außerdem wird eine Route bestimmt, in denen die Einheiten aus beiden Pools zusammengenommen werden. Der Anwender kann entscheiden, ob ihm eine schnelle Erkundung mit gemischten Kräften wichtiger ist als eine vollständige parallele Erkundung des Einsatzgebietes durch Spezialeinheiten.

### 7.5.2. Routenbestimmung für die Lagerfassung am Boden

Die Erkundung aus der Luft liefert einen schnellen Überblick. Sie bietet allerdings nicht die Sicherheit einer Inspektion am Boden. Selbst beim Einsatz spezieller Techniken wie Laserscannern, die eine höhere Sicherheit als eine Beobachtung aus der Luft bieten, ist eine Bestätigung durch die Inspektion von Bodeneinheiten wünschenswert.

#### 7.5.2.1. Grundlagen

Da die von Bodeneinheiten befahrbaren Gebiete eingeschränkt sind, ist die Planung einer optimalen Erkundungsrouten anspruchsvoller als bei Flugeinheiten. Die hier betrachtete Problemstellung hat die folgenden Prämissen.

**Aufgaben:**

- Ziel einer Erkundung durch Bodeneinheiten ist, den Zustand aller Umweltobjekte im Einsatzgebiet zu ermitteln. Dies beinhaltet die Befahrbarkeit von Straßen genauso wie die Prüfung von Schäden an Gebäuden und anderen Umweltobjekten.
- Anhand des zu erstellenden Plans für die Erkundung  $P$  soll mit den verfügbaren Ressourcen schnellstmöglich das gesamte Einsatzgebiet abgedeckt werden. Der Plan  $P$  weist den zur Erkundung verfügbaren Ressourcen jeweils eine eigene Route zu. Um eine optimale Auslastung der Einheiten zu gewährleisten, müssen die Routen der Ressourcen möglichst überschneidungsfrei und von der Distanz gleichverteilt sein. Dies ist gleichzusetzen mit der Minimierung des längsten Pfades über alle Teilrouten und damit einem *Min-Max-Problem*.

**Voraussetzungen:**

- Das Straßennetz ist als Graph mit Knoten und Kanten modelliert. Es weist keine isolierten Kanten auf. Alle Gebäude haben mindestens einen Knoten, der über eine Kante eine Verbindung zum Straßennetz hat. Somit sind alle Gebäude über das Straßennetz erreichbar.
- Es wird angenommen, dass die verfügbaren Ressourcen an unterschiedlichen Punkten stationiert sind. Sie weisen daher verschiedene Startpunkte auf, die auch außerhalb des Einsatzgebietes liegen können. In diesem Fall ist eine durchschnittliche Anfahrtzeit  $T_i^{Anfahrt}$  verfügbar. Bis eine Einheit einsatzbereit ist, kann eine Rüstzeit  $T_i^{Rüstzeit}$  nötig sein. Die Zeit bis zur Verfügbarkeit einer Einheit im Einsatzgebiet ist daher  $T_i^{Initial} = T_i^{Anfahrt} + T_i^{Rüstzeit}$ .
- Jede mobile Bodeneinheit könnte neben ihren Hauptaufgaben auch als Erkundungseinheit dienen. Die Auswahl, welche Ressourcen zusätzlich zur Erkundung herangezogen werden können, erfolgt anhand der Wertes in  $C.Res.Ausstattung\#Fähigkeiten^C\{CLASS^T, RID^T\}\#Erkundung^I$ . Dedizierte Erkundungseinheiten weisen eine primäre Ausprägung auf. Normale Ressourcen besitzen lediglich eine sekundäre Befähigung. Einsatzkräfte, die nicht zur Erkundung verplant werden sollen, besitzen die Fähigkeit nicht. Referenzen auf die primären bzw. sekundären Erkundungsressourcen finden sich in den Listen  $Ext.FähigkeitPrimär\#Erkundung^{L(*)}$  und  $Ext.FähigkeitSekundär\#Erkundung^{L(*)}$  (vgl. auch Unterabschnitt 7.1.2).

**Vorgaben:**

- Ist bereits eine Liste  $O_i \in \{O_1, \dots, O_n\}$  von Umweltobjekten bekannt, bei denen ein erhöhtes Risiko für Personen vermutet wird, sind diese möglichst schnell zu überprüfen. Für sie wird ein separater Erkundungsplan  $P^{Risiko}$  erstellt.
- Soll die Dauer für die Erkundung unter einem Wert  $\bar{T}$  bleiben, ist die Frage nach den dafür notwendigen Ressourcen zu beantworten. Dies ist vor allem

dann interessant, wenn zusätzlich Ressourcen einbezogen werden können, die keine primäre Erkundungsfähigkeit aufweisen. Der dabei bestimmte Erkundungsplan ist mit  $P^T$  bezeichnet. Auch für die priorisierte Erkundung ausgewählter Umweltobjekte kann eine gewünschte Obergrenze der Dauer  $\bar{T}^{Risiko}$  vorgegeben werden. Die daraus erstellte Route ist  $P^{\bar{T}^{Risiko}}$ .

### 7.5.2.2. Modelle der Fragestellung

Durch die gegebenen Voraussetzung ans das Straßenmodell lässt sich die Aufgabe, alle Gebäude und Straßen in möglichst kurzer Zeit zu erkunden, formulieren als die Ermittlung der schnellsten Route, auf der die verfügbaren Einheiten alle Straßenkanten mindestens einmal befahren. Wie bereits Fiedrich [Fie04] erläutert, lässt sich die Routenbestimmung als *Chinese Postman Problem (CPP)* aus der Graphentheorie modellieren [DS10, EJ73]. Da die Anzahl der verfügbaren Ressourcen und ihre Position nicht vor dem Katastrophenereignis bekannt sind, lässt sich eine Lösung nicht im Voraus bestimmen. Die Zusatzanforderung, die Route in mehrere Abschnitte für Ressourcen mit unterschiedlichen Startpunkten aufzuteilen, entspricht einem *Min-Max k-Chinese Postman Problem (MM k-CPP)*, dessen exakte Lösung  $\mathcal{NP}$ -schwer ist. Für eine zeitnahe Lösungsfindung ist dieser Aufwand zu hoch, weshalb die im Weiteren beschriebene Heuristik genutzt zum Einsatz kommt.<sup>15</sup>

Neben einer Route für die Erkundung aller Straßenkanten ist ein gesonderter Plan zur priorisierten Erkundung bestimmter Umweltobjekte  $O_i^{Risiko} = O_i^{RisikoDyn} \vee O_i^{RisikoStat}$  festzulegen. Diese Route ist deutlich kürzer und lässt sich schneller berechnen. Priorisierte Objekte sind u. a. besonders gefährdete Gebäude, wie sie die Schadenssimulation des DMT ermittelt. Der ADVISOR-Agent berücksichtigt Gebäude, bei denen die Simulation ein hohes Risiko für einen Einsturz (Unterabschnitt 6.2.1) oder den Ausbruch eines Brandes (Unterabschnitt 6.3.2.4) ausweist. Ein Gebäude wird der Liste  $O_i^{RisikoDyn}$  hinzugefügt, falls die Simulation einen strukturellen Schaden größer der Schadensklasse  $DS4$  also  $R.Umw.Geb\#StrukturschadenGlaubwürdigster^R\{CLASS^T, RID^T\}\#Schadensklasse^I \geq 4$  prognostiziert bzw. für Brände  $F.Umw.Geb.\$OID^T\$\#FeuerschadenBrandgefahrl > 70$  ist. Die Glaubwürdigkeit der Prognose muss dabei größer als *medium probability* sein. Zusätzlich zur berechneten Liste  $O_i^{RisikoDyn}$  können Straßen und Gebäude definiert werden, die immer zu prüfen sind. Dazu dient die statische Liste  $O_i^{RisikoStat}$ . Damit ist es z. B. möglich, Elemente der kritischen Infrastruktur einer Stadt besonders zu berücksichtigen. Auch besonders schnell verfügbare Informationen zu möglichen Schäden, wie aus luftgestützter Erkundung oder Satellitenbildern, können zur Ergänzung der Liste der priorisiert zu erkundenden Umweltobjekte  $O_i^{Risiko}$  beitragen.

<sup>15</sup>Ein Beispiel für die Lösung eines ähnlichen Problems wird in [AR06] erläutert. Diese lässt sich allerdings nicht auf die vorliegende Situation übertragen, da sie von einem Depot für alle Einheiten ausgeht.

Da alle Umweltobjekte Verbindung zu mindestens einem Straßenknoten haben, lässt sich die Fragestellung ihrer Erkundung verallgemeinern zu einer Liste von Straßenknoten, die besucht werden müssen. Dies wiederum kann als *Problem eines Handlungsreisenden (Traveling Salesman Problem (TSP))* modelliert werden. Wie das CPP ist auch das TSP ein bekanntes Problem der Graphentheorie (vgl. [ABCC11, DS10]). Seine exakte Lösung ist zwar ebenfalls  $\mathcal{NP}$ -Schwer, es existieren aber heuristische Lösungsverfahren. Für diese gibt es fertig implementierte Bibliotheken. Eine von diesen nutzt der für die Planung zuständige ADVISOR-Agent.<sup>16</sup>

### 7.5.2.3. Vorgehen

Im Gegensatz zur vorgestellten Hilfestellung sieht die für die Planung der Lageerfassung eine geringe Kooperation mit dem menschlichen Anwender vor. In einem ersten Schritt werden die Ressourcen bestimmt, die für die Erkundung eingesetzt werden können, um dann in einem zweiten ihre Routen und die notwendige Zeit festzulegen. Der Anwender kann die Planung indirekt durch Vorgaben beeinflussen:

1. durch die Liste von Umweltobjekten, die priorisiert erkundet werden sollen.
2. durch eine zeitliche Obergrenze  $\bar{T}$  für die Erkundung des gesamten Einsatzgebietes.
3. durch eine zeitliche Obergrenze für die priorisierte Erkundung  $\bar{T}^{Risiko}$ .

#### Priorisierte Erkundung

Ausgangspunkt für die Bestimmung der Route der priorisierten Umweltobjekte ist  $O_i^{Risiko} \in \{O_1^{Risiko}, \dots, O_n^{Risiko}\}$ . Da jedem Objekt ein Straßenknoten zugeordnet ist, lässt sich aus der Liste der Objekte eine Liste von Knoten  $N_i^{Risiko} \in \{N_1^{Risiko}, \dots, N_n^{Risiko}\}$  bestimmen. Aus dieser Knotenliste wird mit Verfahren aus Concorde eine annähernd optimale Lösung erstellt, die aus einer geordneten Liste von Kanten  $EL^{Risiko} = \{E_1^{Risiko}, \dots, E_n^{Risiko}\}$  als Beschreibung einer Route der Länge  $D^{EL^{Risiko}}$  besteht.

Aufgrund der Durchschnittsgeschwindigkeit aller Erkundungseinheiten  $\tilde{v}$  lässt sich die Distanz  $d = \tilde{v}\bar{T}^{Risiko}$  bestimmen, die eine Einheit durchschnittlich in der vorgegebenen Zeit zurücklegt. Sei nun  $R$  die Menge aller zur Erkundung verfügbaren Ressourcen, so ist es möglich die Route in einer vorgegebenen Zeit  $\bar{T}^{Risiko}$  zu erkunden, wenn  $d * |R| < D^{EL^{Risiko}}$ . In diesem Fall bestimmt  $K^{Risiko} = \lfloor D^{EL^{Risiko}}/d \rfloor$  die Anzahl der dazu notwendigen Ressourcen. Dieses Vorgehen berücksichtigt keine Abfahrtszeiten und nutzt Durchschnittswerte. Obwohl die Anzahl der Einheiten aufgerundet wird, kann die eigentliche Erkundungszeit der ermittelten Route geringfügig über  $\bar{T}^{Risiko}$  liegen.

<sup>16</sup>In [ABCC11] wird das Verfahren am Beispiel der Software Concorde beschrieben, welche unter <http://www.math.uwaterloo.ca/tsp/concorde/index.html> öffentlich verfügbar und frei nutzbar ist (letzte Prüfung 15.08.2020).

### Erkundung des Einsatzgebietes

Um das gesamte Einsatzgebiet zu erkunden, sind alle Straßenkanten aus  $E_i \in E^*$  mindestens einmal abzufahren.<sup>17</sup> Erfolgt zusätzlich eine priorisierte Erkundung, müssen die dabei geprüften Kanten nicht ein zweites Mal kontrolliert werden. Durch ihre Entfernung entsteht der Graph  $\hat{E}^* = E^* \setminus EL^{Risiko}$ . Dabei muss allerdings vermieden werden, dass durch das Entfernen von Kanten isolierte Teilgraphen entstehen. Daher wird für das Straßennetz des Einsatzgebietes im Voraus ein *Minimal Spanning Tree (MST)* mithilfe des *Kruskal*-Lösungsverfahrens bestimmt (siehe dazu [Cor09]). Ein MST definiert die Kanten, die nötig sind, um mit einer minimalen Strecke alle Knoten eines Graphen erreichen zu können. Ist eine Kante Teil des MST, wird sie nicht aus  $\hat{E}^*$  entfernt, auch wenn sie in  $EL^{Risiko}$  enthalten ist. Für die verbliebenen Kanten wird das TSP anhand einer Heuristik gelöst<sup>18</sup> und das Ergebnis als geordnete Liste von Kanten in der Route  $EL = \{E_1, \dots, E_n\}$  abgelegt. Analog zum Vorgehen bei der priorisierten Erkundung lässt sich die Anzahl der notwendigen Einheiten aufgrund der Vorgabe einer maximalen Dauer  $\bar{T}$  durch  $K = \lfloor D^{EL}/d \rfloor$  bestimmen.

### Erstellung der Erkundungspläne

Erfolgen Vorgaben zur maximalen Dauer, sind diese vor der Umsetzung der Erkundungspläne zu prüfen. Die Anzahl der Elemente in der Liste der zur Erkundung verfügbaren primären und sekundären Einheiten  $R = Ext.FähigkeitPrimär \# Erkundung^{L(*)} \vee Ext.FähigkeitSekundär \# Erkundung^{L(*)}$  muss größer sein als  $K + K^{Risiko}$ . Ist dies nicht der Fall, muss der Anwender entweder Abstriche bei seinen Vorgaben machen oder weitere Ressourcen mobilisieren. Sind die Voraussetzungen erfüllt, erfolgt die Zuordnung der Ressourcen zu der jeweiligen Teilrouten von  $EL^{Risiko}$  und  $EL$  anhand von Algorithmus 7.14.

---

#### Algorithmus 7.14 Zuordnung der Erkundungsressourcen

---

**Eingabe:** Liste  $R$  der Ressourcen  $R_i$  sowie die zu erkundende Route  $EL^{Risiko}$  bzw.  $EL$ .

**Ergebnis:** Der Plan des Ressourceneinsatzes  $P^{Risiko}$  bzw.  $P$  bestehend aus einer Liste von Tupeln aus Ressourcenbezeichnern und Startknoten.

#### Initialer Schritt

1. Bei der Bestimmung von  $P^{Risiko}$ : Suche die Einheit  $R_i$ , die dem Startpunkt von  $EL^{Risiko}$  am nächsten liegt.  
Bei der Bestimmung von  $P$ : Wähle für den Start- und Endpunkt der Rundreise jeweils Orte, die der Position einer Ressource  $R_i$  aus  $R$  entsprechen.
2. Setze die zeitliche Grenze  $T$  auf  $\bar{T}^{Risiko}$  bzw.  $\bar{T}$ .

---

<sup>17</sup>Alle Gebäude sind damit ebenfalls berücksichtigt, da angenommen werden kann, dass jedes Gebäude an mindestens einer Straßenkante liegt.

<sup>18</sup>Bei der Implementierung wurde dazu auf das Verfahren aus [Chr73] zurückgegriffen.

**Auswertung - Bestimme den Ressourcenplan**

1. Bestimme anhand der Geschwindigkeit  $a_{R_i}^V$  der gewählten Einheit  $R_i$  die Strecke  $\hat{d}_{R_i} = T a_{R_i}^V$ , die durch die Ressource in der vorgegebenen Zeit  $T$  zurückgelegt wird.
2. Rücke auf der Route auf  $EL^{Risiko}$  bzw.  $EL$  um die Distanz von  $\hat{d}_{R_i}$  vor und bestimme die Position auf der Kante sowie deren Anfangs und Endknoten. Liegt der Endpunkt der Strecke nicht auf einem Knoten, aber die Strecke auf der Kante wurde in der vorgegebenen Zeit bereits zu mehr als 3/4 durchfahren, wird die Kante bis zum Endknoten verfolgt. Ansonsten wird als Endpunkt der Route Startknoten gewählt.
3. Falls der Endpunkt nicht dem der Route  $EL^{Risiko}$  bzw.  $EL$  entspricht: Bestimme eine noch nicht eingesetzte Ressource  $R_i$  aus  $R$ , die der aktuellen Position auf der Route am nächsten liegt, und fahre fort mit Schritt 1.

---

---

Der Nutzer ist nicht gezwungen, Vorgaben zu machen. Wird z. B. eine priorisierte Erkundung ohne zeitliche Begrenzung gewählt, setzt der ADVISOR-Agent zwei Stunden als Standardwert. Macht der Nutzer überhaupt keine Vorgaben, werden die verfügbaren Ressourcen mit primärer Erkundungsfähigkeit für die Erkundung des Einsatzgebietes eingesetzt. Das zuvor beschriebene Vorgehen wird leicht abgewandelt. Als zeitliche Vorgabe wird  $T = P/\tilde{v}|R^{Prim}|$  gewählt, wobei  $|R^{Prim}|$  die Anzahl der verfügbaren Einheiten mit primärer Erkundungsfähigkeit darstellt.

# 8. Kooperativer Entscheidungsprozess

Wie in Abschnitt 2.1 erläutert, besteht die Hauptaufgabe von Entscheidungsträgern auf der operativ-taktischen Ebene in der Koordinierung der Hilfs- und Einsatzkräfte. In Anlehnung an die goldene Regel der Logistik ist die Forderung zu erfüllen, die richtigen Ressourcen in der richtigen Menge zur richtigen Zeit am richtigen Ort einzusetzen. Der zugrunde liegende Entscheidungsprozess ist mehrstufig (vgl. Unterabschnitt 3.4.2) und insofern komplex, als dabei verschiedenste Quellen berücksichtigt werden müssen, deren Informationen unterschiedlich zuverlässig sind und sich häufig verändern. Die vorgestellten aktiven und passiven Methoden können, einzeln angewendet, den Entscheidungsträger unterstützen. Da sie sich gegenseitig ergänzen, bringen sie durch die Integration in den geführten Entscheidungsprozess des DMT einen höheren Nutzen. Eingebettet in die Oberfläche MIS werden die Schritte des Entscheidungsprozesses zu einem System integriert, welches in Kooperation mit dem Anwender dessen Entscheidungsfindung optimiert.

Mit Ausnahme der Hilfestellungen zur Erkundung (siehe Abschnitt 7.5) entscheidet der Anwender über die Zuordnung der einzelnen Ressourcen. Die Abwägungen, die dabei stattfinden, entscheiden über Menschenleben. Es ist nicht sichergestellt, dass ein Softwareagent über alle Informationen verfügt und diese richtig bewertet. Daher muss ein Mensch der Hauptverantwortliche bleiben. Aufgabe des Agenten ist die Entlastung des Entscheidungsträgers bei der Strukturierung und Bewertung von Fakten, sodass dieser sich auf die Lösungsfindung konzentrieren kann. Dazu dienen Ratschläge und Hinweise wie z. B., warum ein Gefahrenbereich eine hohe Priorität aufweisen könnte oder eine Ressource besser die dort vorliegenden Anforderungen erfüllt als eine andere.

## 8.1. Ablauf

Der menschliche Entscheidungsprozess ist in den meisten Situationen eine iterative Annäherung an eine Lösungsoption (vgl. Kapitel 3). Mit jeder Iteration soll die Lösung sich möglichst verbessern. In einer komplexen Situation gliedert sich die Lösungsfindung ggf. in mehrere Phasen. Oft kann eine initiale Lösung nicht alle Erkenntnisse berücksichtigen, da sich diese erst während der Entscheidungsfindung erschließen und daher erst in spätere Iterationen einfließen können. Da das Verhalten und die Wahrnehmung eines Menschen außerdem stark gekoppelt sind, fällt

es ihm leichter, Lösungen hinsichtlich ihrer Qualität zu beurteilen, wenn er bereits verschiedene Optionen kennt (vgl. [PG97, Gib86]). Menschen nehmen ihre Umwelt wahr, um in Folge der Wahrnehmung zu handeln, und handeln wiederum, um sich eine bessere Wahrnehmung zu erschließen. Eine Computerstützung bei der Entscheidungsfindung muss daher, neben Instrumenten der Visualisierung, vor allem eine Interaktion bieten, um den Prozess der iterativen Lösungsfindung zu unterstützen. Dies gilt besonders dann, wenn ihm, wie im Fall einer Katastrophe, die Situation unbekannt und schwer zu durchschauen ist.

Auch wenn es bessere Lösungen verspricht, ist ein iteratives Vorgehen nicht immer möglich und sinnvoll. Zeitdruck ist dabei das Hauptkriterium. Im Katastrophenfall steht oft nicht genügend Zeit für mehrere Iterationen zur Verfügung, ganz im Gegensatz zu einer vorbereitenden Planung. Obwohl sie ein iteratives Vorgehen ermöglichen, ist ein Ziel der ADVISOR Agenten, bereits in der ersten Iteration des Entscheidungsprozesses ein möglichst gutes Ergebnis zu erzielen. Der Ablauf sowie die bereitgestellte Unterstützung sollen dem Anwender einerseits die Möglichkeit zur Reflexion seiner Entscheidungen bieten und andererseits schnelle Entscheidungen ohne gravierende Fehler ermöglichen. Die Interaktion der Software orientiert sich an dem natürlichen bzw. erlernten Entscheidungsprozess des Nutzers, damit dieser sich leichter zurechtfindet und die bereitgestellten Hilfestellungen akzeptiert.

Aufgrund dieser Anforderungen orientiert sich der Ablauf der Entscheidungshilfe an Erkenntnissen in Bezug auf Entscheidungsfindungsprozesse im Allgemeinen (vgl. Unterabschnitt 3.4.2) sowie im Führungsstab auf der operativ-taktischen Ebene im Speziellen (siehe Kapitel 2). Anhand daraus abgeleiteter Arbeitsschritte wurden die Hilfestellungen der ADVISOR-Agenten konzipiert. Abbildung 8.1 zeigt den Ablauf bzw. die Abhängigkeiten des zugrunde liegenden Prozesses.<sup>1</sup> Der Anwender wird nur selten in festen Dialogfolgen geführt. Er ist frei darin, den Kontrollfluss zu unterbrechen und später wieder fortzusetzen (gestrichelte Linien im Diagramm), um zwischenzeitlich andere Handlungen durchzuführen. Dies ist gerade bei der Wahrnehmung der Situation hilfreich, dem Schritt *Observe* in den Prozessmodellen. So ist es z. B. nach der Bewertung einer eingehenden Meldung sinnvoll, nicht sofort mit der Priorisierung der Gefahrenbereiche zu beginnen, sondern stattdessen die Situationswahrnehmung durch eine Analyse der aktuellen Lage in der Kartenansicht zu ergänzen. Gerade bei einer unzureichenden Informationslage können die Ergebnisse einer Schadenssimulation dabei unterstützen sich einen Eindruck vom potentiellen Umfang der Katastrophe zu verschaffen. Eine Unterbrechung des geführten Prozessverlaufs ist daher sinnvoll und erwünscht. Denn auch, wenn der Entscheidungsträger den durch die Agenten vorgesehenen Ablauf zeitweise verlässt, um z. B. sein Lagebild zu erweitern, führt die Benutzungsoberfläche ihn in den geplanten Verlauf zurück, sobald Entscheidungen getroffen werden.

---

<sup>1</sup>Die einzelnen Schritte sind neben ihrer Beschreibung mit Buchstaben versehen, um sie in der Erläuterung referenzieren zu können.

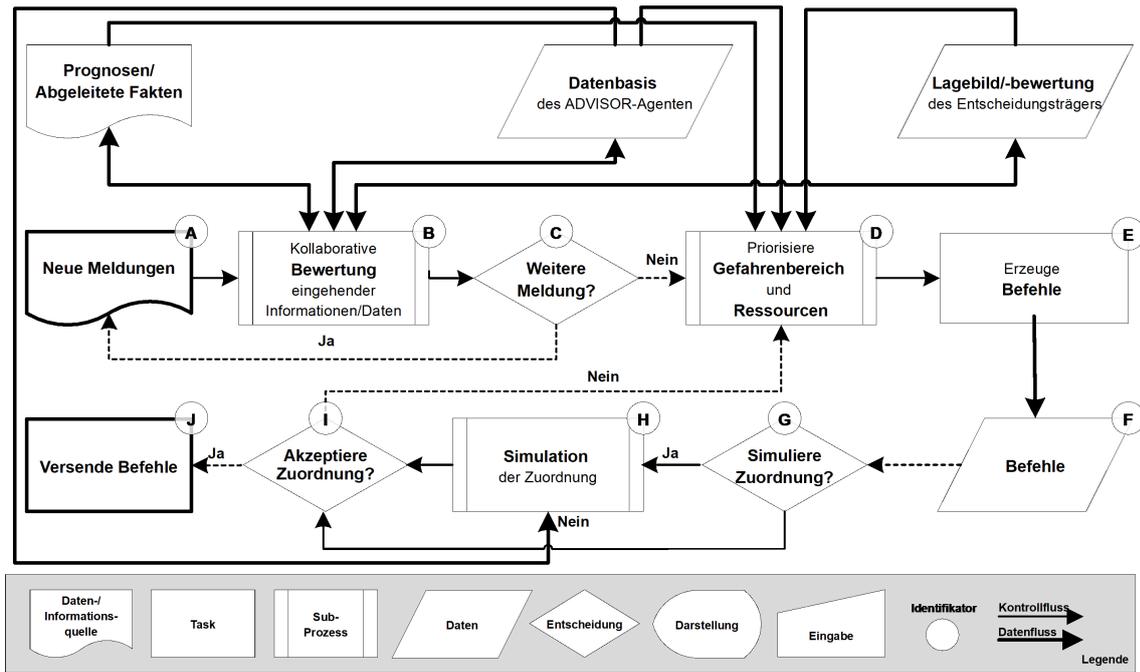


Abbildung 8.1.: Entscheidungsprozesse der ADVISOR-Agenten

Der Startpunkt des in Abbildung 8.1 dargestellten Prozesses sind neu eingehende Meldungen, die der menschliche Anwender zur Wahrnehmung öffnet (Element A). Der Ablauf ist in drei Hauptschritte gegliedert, die wiederum in Sub-Prozessen modelliert sind:

- Die kollaborative Bewertung eingehender Informationen (Element B) ist eine Kombination der Schritte Lagefeststellung und -beurteilung aus der DV100. Sie unterstützt die Schritte *Observe* sowie *Orient* des in Unterabschnitt 3.4.2 beschriebenen Entscheidungsmodells. Beim Eingang von Meldungen gilt es, zunächst deren Informationsgehalt zu verarbeiten. Dazu beurteilt der ADVISOR-Agent die Lage auf Basis der neuen Meldung sowie der in der Faktenbasis bereits verfügbaren Informationen. Das Ergebnis wird dem Anwender präsentiert und von ihm ggf. ergänzt. Sind weitere Meldungen vorhanden, sollte die Bewertung mit diesen fortgesetzt werden (Element C). Nachdem alle neu verfügbaren Informationen erfasst wurden, ergibt sich daraus ein gemeinsames Lagebild von Agent und Anwender, welches die Grundlage für die weiteren Entscheidungen darstellt.
- Basierend auf dem gemeinsamen Lagebild erfolgt die Ressourcenzuordnung zu identifizierten Gefahrenbereichen (Element D). Dies entspricht den Schritten *Orient*, *Plan* und *Decide* im Entscheidungsmodell. Der Sub-Prozess ist aufgeteilt in die Auswahl eines Gefahrenbereiches und die Zuordnung passender Ressourcen. Auf dieser Basis erfolgt jeweils die Generierung von Befehlen, um die gewählten Ressourcen ihren Einsatzstellen zu-

zuordnen. Dieser Schritt wird für alle noch nicht versorgten Gefahrenbereiche wiederholt. Die generierten Befehle werden nicht sofort verschickt, sondern im Nachrichtenausgang abgelegt (Element E und F). Dort können sie vor dem Versand durch den Anwender inspiziert, verändert oder ergänzt werden.

- Der Anwender kann die Ressourcenzuordnung in einer Simulation überprüfen. Dies ermöglicht eine Bewertung der gewählten Handlungsoption aus dem Schritt *Decide* des Entscheidungsmodells.

Eingangsdaten der Simulation sind die Befehle im Nachrichtenausgang und die aktuellen Informationen in der Faktenbasis (Element H). Die zu simulierende Zeitspanne wird durch den Anwender gewählt. Das Ergebnis jedes Simulationsszenarios kann im MIS angewählt und inspiziert werden.

Wird die Zuordnung von Ressourcen ganz oder teilweise verworfen, beginnt die Iteration des Entscheidungsprozesses von Neuem. Fällt die Beurteilung der gewählten Handlungen positiv aus, werden durch das System die im Nachrichtenausgang liegenden Befehle an die Ressourcen versendet (Element E). Dieser Schritt *Act* aus dem Entscheidungsmodell beendet die aktuelle Iteration. Eine weitere beginnt, sobald neue Meldungen aus dem Einsatzgebiet vorliegen.

## 8.2. Kooperative Bewertung eingehender Informationen

Um nachvollziehbare und sinnvolle Hilfestellungen liefern zu können, ist es notwendig, dass bei ADVISOR-Agent und seinem menschlichen Nutzer der Informationsstand und die Bewertung der Lage möglichst übereinstimmen. Daher hat die kollaborative Bewertung eingehender Informationen zwei Ziele: (1) Dem Agenten sollen Informationen erschlossen werden, die ihm durch seine Sensoren nicht zugänglich sind. (2) Die Lagebewertung wird zwischen Mensch und Softwareagent abgeglichen.

Die Agenten agieren in einer realen Umwelt und im Zusammenspiel mit menschlichen Akteuren. Es existieren daher Quellen, für welche die Agenten keine Sensoren besitzen. Informationen sind in einer Form codiert oder werden in Medien übertragen, welche die Agenten nicht auswerten können, wie z. B. Freitext oder Sprache (vgl. auch Unterabschnitt 6.4.1). Neben diesen zusätzlichen Informationsquellen sollen den ADVISOR-Agenten auch das Wissen und die Erfahrungen des Entscheidungsträgers zugänglich gemacht werden. Der Schwerpunkt liegt auf Informationen zu Gefahrenbereichen und zu den verfügbaren Einsatz- und Hilfskräften. Wie in Unterabschnitt 5.4.2 erläutert, wird der Status von Ressourcen anhand eines elektronischen Meldewesens automatisch geführt (vgl. auch Unterabschnitt 7.1.2). Für die möglichst vollständige Ermittlung und Bewertung von Gefahrenbereichen arbeiten Mensch und Softwareagent zusammen. Als gemeinsames Bezugssystem kommt die in Abschnitt 6.5 und Unterunterabschnitt 5.3.3.1 erläuterte Risikomatrix zum Einsatz. Auf Grundlage der einem ADVISOR-Agenten zur Verfügung stehenden

Fakten entwickelt dieser zunächst ein eigenes Lagebild (vgl. Abschnitt 7.2). Durch die Auswertung von Regeln werden Risikobewertungen sowie erläuternde Hinweise für die identifizierten Gefahrenbereiche erzeugt (vgl. Abschnitt 7.3). Ziel ist ein Dialog mit dem Anwender, in dessen Verlauf beide Seiten Wissen austauschen und ein gemeinsames Verständnis der Lage entwickeln.

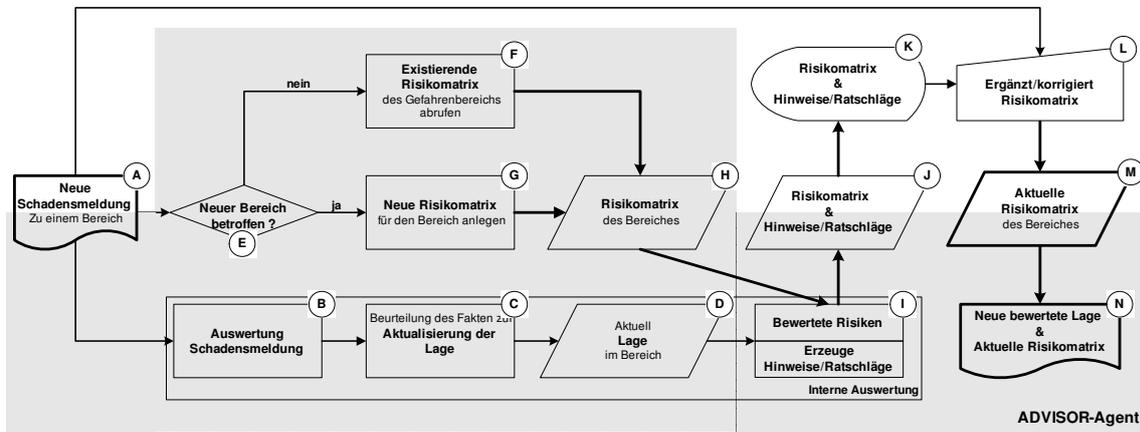


Abbildung 8.2.: Kooperative Situationsbewertung

Abbildung 8.2 stellt den kooperativen Prozess der Bewertung eingehender Informationen mit der gemeinsamen Lagefeststellung und Beurteilung dar. In dem Diagramm sind Elemente, die dem Agenten zuzuschreiben sind, grau hinterlegt und die des Anwenders weiß. Die Risikobewertung erfolgt aufgrund der Informationen des Zustands von Umweltobjekten aus der Faktenbasis des Agenten.

Für jede neue Schadensmeldung aus dem Einsatzgebiet (Element A) wertet der Agent mithilfe von Regeln in der Wissensbasis die enthaltenen Informationen aus. Die in Unterunterabschnitt 5.4.3.6 dargestellten Fuzzy-Regeln beurteilen die Glaubwürdigkeit einer Meldung (Element B). Weitere Regeln leiten die Fakten aus der Meldung ab (siehe Abschnitt 7.2). Zusammen führt dies zu einer Aktualisierung der Lage in der Faktenbasis des Agenten (Element C). Ist von der Schadensmeldung ein bisher nicht als gefährdet bekannter und somit neuer Bereich betroffen (Element E), erhält dieser eine eindeutige Kennung und es wird eine leere Risikomatrix angelegt (Element G). Existiert bereits eine Risikobewertung, greift der Agent auf diese zurück (Element F). Anhand der Fakten zur aktuellen Lage und der ggf. bereits vorhandenen Risikomatrix (Element H) des betrachteten Bereiches (Element D) erfolgt die Bewertung bestehender Risiken (siehe Abschnitt 7.3). Sie wird ergänzt durch erläuternde Hinweise sowie Ratschläge bezüglich des Gefahrenbereiches und der allgemeinen Lage, welche sich aus weiteren Regeln der Wissensbasis ableiten (Elemente I und J).

Die erstellte bzw. aktualisierte Risikomatrix wird dem Anwender zur Ergänzung und Korrektur übergeben (vgl. Abschnitt 6.5). Ihre Darstellung (Element K) erfolgt in der Detailansicht des Gefahrenbereiches (siehe Unterunterabschnitt 6.4.2.2),

welche um Textfelder für die Anzeige von Hinweisen und Ratschlägen ergänzt ist. Die Hinweise, welche die vom System vorgeschlagenen Bewertungen in natürlichsprachlicher Form erläutern, sollen die Bewertungskriterien des Agenten für den Menschen verständlich machen. Ratschläge weisen den Anwender auf zu beachtende Umstände im Gefahrenbereich hin und sollen verhindern, dass er wichtige Fakten bei seiner eigenen Beurteilung übersieht. Der Agent unterstützt den Nutzer, indem er die verfügbaren Fakten verständlich aufbereitet. Der Mensch wiederum kann seine Erfahrungen sowie Informationen aus nur ihm zugänglichen Quellen als Korrekturen in die Risikobewertungen einfließen lassen (Element L). Die entsprechend aktualisierte Risikomatrix ist in der Faktenbasis abgelegt. Somit fließen die Informationen des Nutzers in die Faktenbasis des Agenten zurück, wo sie wiederum für die Hilfestellungen bei der Ressourcenzuordnung berücksichtigt werden (Elemente M und N).

### 8.3. Ressourcenzuordnung

Wie bereits ausgeführt ist eine Katastrophenlage u. a. dadurch definiert, dass nicht ausreichend Ressourcen zur Bewältigung aller anfallenden Aufgaben verfügbar sind. Gerade in Industrienationen ist dies eine ungewöhnliche Situation. Echte Ressourcenknappheit, die eine Bewältigung aus eigener Kraft unmöglich macht, tritt dort selten auf. Oftmals muss allerdings zwischen zeitkritischen und -unkritischen Fällen unterschieden werden, da das Heranführen weiterer Hilfskräfte Zeit benötigt. Aus einer Ressourcenknappheit resultiert, dass verfügbare Einheiten möglichst effektiv eingesetzt und auf die dringlichsten Gefahrenbereiche verteilt werden müssen. Dazu ist eine Bewertung nötig, wo die Gefahr am größten ist, und es ist abzuwägen, welcher Ressourceneinsatz den größten Nutzen verspricht. Die Verknappung führt dabei zwangsläufig dazu, dass geringer priorisierte Gefahrenbereiche nicht optimal oder sogar überhaupt nicht versorgt werden.

Die Unterstützung bei der Ressourcenzuordnung ist als Zusammenarbeit zwischen Entscheider und Softwareagent realisiert. Der Agent übergibt seine Vorschläge einer Priorisierung von Ressourcen und Gefahrenbereichen in Form sortierter Listen. Natürlichsprachliche Hinweise begründen die Priorisierung der Elemente, ergänzt um Ratschläge, die auf Besonderheiten jedes Gefahrenbereiches hinweisen. Anders als bei der kollaborativen Informationsbewertung ist hierbei nicht das Ziel, dass ADVISOR-Agent und Anwender Informationen austauschen. Der Informationsfluss verläuft hauptsächlich vom Agenten zum Entscheidungsträger und nicht gleichberechtigt in beide Richtungen. Die Entscheidungsgewalt liegt dagegen vollständig beim Menschen. Der Agent unterstützt durch die Informationsaufbereitung und die Erzeugung von Befehlsmeldungen aus den Handlungsentscheidungen.

Der Prozess der Entscheidungsfindung als Interaktion zwischen Nutzer und ADVISOR-Agent ist in Abbildung 8.3 dargestellt. Analog zum Risikobewertungsprozess sind die Elemente des Agenten grau und die des Anwenders weiß hinter-

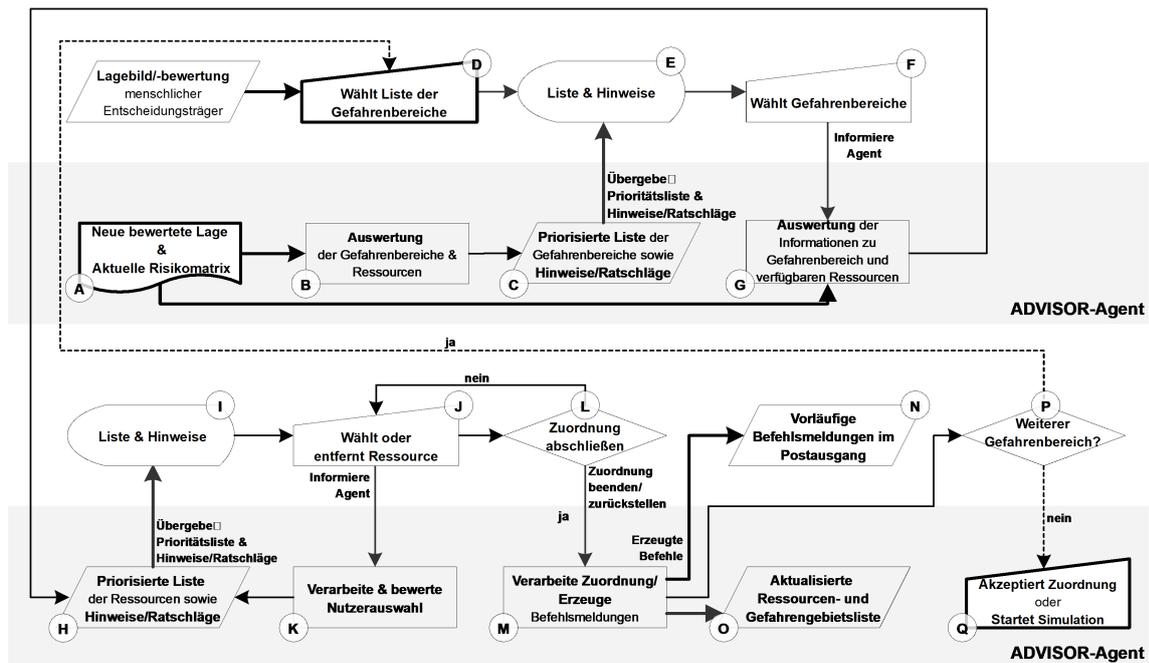


Abbildung 8.3.: Unterstützung bei der Ressourcenzuordnung

legt. Grundlage für die Entscheidungen von Agent und Nutzer ist ihr gemeinsames Bild der Lage, welches in der kollaborativen Bewertung erarbeitet wurde. Jede neue Bewertung (Element A) führt beim Agenten zu einer neuerlichen Auswertung der Informationen zu den Gefahrenbereichen (Element B) und darauf basierend zu einer Aktualisierung der priorisierten Liste der Gefahrenbereiche (Element C). Deren Ordnung spiegelt wider, mit welcher Dringlichkeit Gefahrenherde zu bekämpfen sind (vgl. Unterabschnitt 7.4.1). Die Liste wird zusammen mit erläuternden Hinweisen zu jedem ihrer Elemente (Element E) im MIS innerhalb der Kartenansicht angezeigt. Dort kann der Anwender ihre Elemente mit den zugehörigen Hinweisen und Ratschlägen inspizieren (Element D).

Mit der Wahl eines Gefahrenbereiches (Element F) steigt der Anwender in den geführten Dialog zur Ressourcenzuordnung ein. Es erfolgt eine Auswertung der in der Faktenbasis abgelegten Informationen zum gewählten Bereich und der für eine Zuordnung verfügbaren Ressourcen (Element G). Daraus wird eine nach Prioritäten sortierte Liste der Ressourcen erstellt, die verfügbar sind und den gewählten Gefahrenbereich erreichen können (Element H). Die Priorisierung bewertet die Fähigkeiten der Einheiten unter Berücksichtigung der Situation des Gefahrenbereiches (vgl. Unterabschnitt 7.4.2). Die Hinweise liefern individuelle Begründungen für die Priorisierung der einzelnen Ressource. Dagegen geben die Ratschläge Hinweise zur allgemeinen Situation des Gefahrenbereiches im Hinblick auf die zugeordneten Ressourcenklassen. Sie berücksichtigen Besonderheiten der Gefahrenquellen, wie z. B. Risiken für die Einsatzkräfte aufgrund der Freisetzung von ABC-Substanzen. Abhängig von der Schadensart und der Ressourcenklasse beinhalten die Ratschläge Empfeh-

lungen zur Reservehaltung oder zur Zurückstellung des Bereiches, falls dieser nicht relevant genug oder mit den verfügbaren Mitteln eine Bekämpfung der vorliegenden Gefahr nicht sinnvoll möglich erscheint (vgl. Unterunterabschnitt 7.4.2.4). Die Entscheidung, Ressourcen gemäß ihrer Priorisierung zuzuordnen oder die Ratschläge des Agenten zu befolgen und z. B. keine Ressourcen zuzuweisen, liegt immer beim Anwender. Die priorisierte Liste der Ressourcen wird unabhängig davon, ob die Ratschläge eine Zuordnung empfehlen, erstellt. Auch kann der Anwender jede verfügbare Ressource in seiner Verantwortlichkeit einem Gefahrenbereich zuweisen, selbst wenn der Agent ihr eine niedrige Priorität in der Ressourcenliste zugewiesen hat.

Wählt der Anwender eine Ressource und weist sie der Einsatzstelle zu (Element G), wird diese Änderung vom ADVISOR-Agenten verarbeitet (Element K) und führt zu einer neuen priorisierten Ressourcenliste, zusammen mit aktualisierten Hinweisen und Ratschlägen (Element H und I). Das Gleiche geschieht, wenn der Anwender eine Ressource aus der Auswahl der zugeteilten Kräfte entfernt hat. Ein Teil der Ratschläge des Agenten ist die Beurteilung, ob die bisher zugeordneten Kräfte ausreichen. Unabhängig von den Hilfestellungen kann sich der Anwender jederzeit dazu entscheiden, die Zuordnung für einen Gefahrenbereich abzuschließen (Element L). In dem folgenden Dialogfenster werden ihm die beiden Optionen „Zuordnung beenden“ oder „Gefahrenbereich zurückstellen“ angeboten. Beendet der Nutzer die Zuordnung, wird der Wert von  $E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\#\$ZuordnungBeendet^B$  auf *Wahr* gesetzt, was dazu führt, dass das Gebiet nicht mehr in der Liste der Gefahrenbereiche enthalten ist (Element O). Erst das Eintreffen einer neuer Schadensmeldung für diesen Bereich setzt den Wert wieder auf *Falsch*, wodurch er wieder in der Liste erscheint. Die Auswahl „Gefahrenbereich zurückstellen“ führt dazu, dass  $E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\#\$ZuordnungZurückgestellt^I$  der Wert  $n$  zugeordnet wird. Dieser entspricht der Anzahl der bisher zurückgestellten Bereiche. Den Listen  $Ext.AktiveSch\ddot{e}den^{\$Schadensart\$}$  bzw.  $Ext.ProgSch\ddot{e}den^{\$Schadensart\$}$  werden die zurückgestellten Bereiche  $n$ -ter Position hintenangestellt. Der Anwender kann dadurch die Entscheidung über eine Zuordnung von Ressourcen nach hinten schieben und zunächst abwarten, welche Ressourcen noch an anderen Einsatzstellen benötigt werden.

Für die zugeordneten Einsatzkräfte erzeugt der ADVISOR-Agent selbstständig Befehlsnachrichten, die im Postausgang (Outbox) gesammelt (Element N) werden. Außerdem aktualisiert er die Liste der verfügbaren Einsatzkräfte, indem er die zugeordneten Ressourcen daraus entfernt (Element O). Sind noch weitere Gefahrenbereiche in der priorisierten Liste, kann der Anwender mit der Ressourcenzuordnung bei einem dieser Gebiete fortfahren (zurück zu D). Beendet er die Zuordnung oder sind aktuell keine Gefahrenbereiche mehr zu bearbeiten, entscheidet der Anwender, ob die getroffene Auswahl umgesetzt wird (Element Q). Zuvor kann er seine Entscheidungen nochmals prüfen, indem er z. B. die erzeugten Befehle inspiziert oder eine Simulation anfordert. Diese liefert unter Berücksichtigung der zugeordneten Ressourcen eine Prognose der Lageentwicklung. Zum Umsetzen der Zuordnung ist lediglich

ein Tastendruck nötig, der die Befehlsnachrichten aus dem Postausgang gesammelt verschickt.

Die gestrichelten Linien im Prozessdiagramm stellen Übergänge dar, an denen der Nutzer die Zuordnung der Ressourcen jederzeit unterbrechen kann. Es müssen nicht alle Gefahrenbereiche berücksichtigt worden sein. Stattdessen kann der Anwender die bisher getroffenen Entscheidungen umsetzen, sie nochmals analysieren oder seine Sicht auf die Lage vertiefen, bevor er mit der Bearbeitung der übrigen Gefahrenbereiche fortfährt. Mit dem Versand der Befehle endet eine Iteration der Ressourcenzuordnung und der Term  $E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\$\#ZuordnungZurückgestellt^I$  wird auf 0 zurückgesetzt. Daraufhin wird die Liste der priorisierten Gefahrenbereiche wieder gemäß der Beurteilung des Agenten geordnet.

## 8.4. Simulation der Ressourcenzuordnung

Die Simulatoren der DMT-SIM-Komponente bieten Ausgangsschadensszenarios (z. B. Erdbeben), Verlaufssimulationen von Schäden (z. B. Feuer) sowie Simulationen des Einsatzes von Ressourcen in der Katastrophenumwelt. Die dabei erstellen Prognosen sollen den Anwender im Entscheidungsprozess dabei unterstützen, über die Ressourcenzuordnung zu reflektieren.<sup>2</sup> Je nach Zeitpunkt in der Katastrophengewältigung sind Simulationen im Rahmen einer Entscheidungsunterstützung für zwei Aufgaben vorgesehen:

1. Zu Beginn einer Katastrophe liegen meist wenige Informationen zur Lage vor. Eine Schadenssimulation kann ein Szenario liefern, welches ähnlich wie in der Einsatzvorbereitung eine Abschätzung der notwendigen Ressourcen ermöglicht. Darauf basierend kann der Entscheidungsträger frühzeitig beurteilen, ob und wie viele zusätzliche Einheiten zur Unterstützung anfordert werden sollten. Außerdem identifiziert die Schadenssimulation besonders gefährdete Gebiete und Orte, an denen ein hohes Risiko für verletzte Personen besteht. Dies fließt u. a. in die Planung der Erkundung des Einsatzgebietes ein.
2. Zu einem späteren Zeitpunkt sind Simulationen zur Prognose eines möglichen Verlaufs der Katastrophe interessant. Sie ermöglichen es, den Einsatz von Einheiten zu simulieren, um für die Befehle eines Entscheidungsträgers vor ihrer Ausführung zu prüfen, welche Folgen sie haben und wie effektiv der Einsatz der gewählten Ressourcen ist.

Um eine Prüfung der Ressourcenzuordnung zu ermöglichen, verschicken die ADVISOR-Agenten die Befehle an zugeordnete Einheiten erst nach Freigabe durch den Anwender (vgl. Abschnitt 8.3). Die im Postausgang liegenden Befehle<sup>3</sup> in Ver-

---

<sup>2</sup>Wie in Unterabschnitt 6.2.6 erläutert, bietet DMT-SIM auch Unterstützung bei der Einsatzvorbereitung und bei Übungen/Schulungen.

<sup>3</sup>Es gibt auch die Option, eine Nachricht sofort zu versenden. Diese sollte aber nur verwendet werden, wenn keine Simulation geplant ist.

bindung mit den aktuellen Fakten zur Lage können daher als Ausgangssituation für ein Simulationsszenario dienen. Auf Anforderung des Anwenders werden diese Daten durch die ADVISOR-Agenten zusammengepackt und der DMT-SIM-Komponente zur Erstellung einer Prognose übergeben. Die im System integrierten Ressourcensimulatoren enthalten Erkundungstrupps, Such- und Rettungskräfte, Feuerlöschtrupps sowie Rettungswagen. Dies ermöglicht die folgenden Hilfestellungen:

- *Erkundungstrupps*: Validierung eines Erkundungsplans, in dem angezeigt wird, wann eine Erkundungsressource eine Straße oder ein Gebäude untersucht. Der zeitliche Verlauf wird auf der Karte dargestellt, indem erkundete Gebäude und Straßen eingefärbt werden. Hierdurch ist auch erkennbar, ob und welche Gebäude oder Straßen bei der Erkundung ausgespart wurden.
- *Rettungswagen*: Für die einem Ort zugewiesenen Rettungswagen ermittelt die Simulation, wie viel Zeit der Transport einer Person benötigt. Müssen mehr Verletzte abtransportiert werden, als die Kapazität von zugewiesenen Einheiten zulässt, pendeln die Einheiten selbstständig zwischen dem Krankenhaus und dem zugewiesenen Gefahrengebiet. Die Prognose zeigt an, bis wann wie viele Personen transportiert werden können.
- *Feuerlöschtrupps*: Der Feuersimulator bestimmt die Entwicklung eines Brandes unter Berücksichtigung ggf. stattfindender Löscharbeiten. Das Ergebnis enthält den Endzustand der Gebäude (ausgebrannt oder gelöscht) sowie den Grad ihrer Beschädigung. Außerdem werden die Ausbreitung auf Nachbargebäude und der dort auftretende Brandverlauf prognostiziert.
- *Such- und Rettungskräfte*: Basierend auf den Fakten zum Schadensbild eines eingestürzten Gebäudes prognostiziert das Simulationsmodell für Such- bzw. Rettungsarbeiten für gegebene Ressourcen die Dauer der Arbeiten. Sollten die Sucharbeiten noch nicht abgeschlossen und damit die reale Anzahl der verschütteten Personen unbekannt sein, wird die durch EQSIM bereitgestellte Schätzung bei der Simulation der Rettungsarbeiten angenommen.

Abbildung 8.4 stellt den Prozess der Simulation eines Einsatzplanes dar, wie er zur Prüfung der Ressourcenzuordnung genutzt wird.

Bei der Anforderung einer Simulation wählt der Anwender den gewünschten Startzeitpunkt sowie die Dauer und gibt dann den Startbefehl (Element A). Daraufhin fordert der ADVISOR-Agent beim Mediator der DMT-SIM-Komponente eine neue Simulationsumgebung an (Element C). Dieser wird eine Szenario-Id zugeordnet, die sie im Weiteren eindeutig identifiziert. Auf Grundlage der aktuell in der Faktenbasis verfügbaren Informationen zur Lage sowie der im Nachrichtenausgang abgelegten Befehle wird für die neu erstellte Simulationsumgebung ein Ausgangsszenario erstellt (Elemente E bis H). Der Mediator startet daraufhin den Simulationslauf über den vorgegebenen Zeitraum (Elemente J und K). Das Ergebnisszenario besteht aus dem Zustand aller Umweltobjekte zum Endzeitpunkt sowie den Meldungen der Einsatzkräfte über den gesamten Simulationsverlauf (Element L). Über den Mediator-Agenten werden die Ergebnisse der Simulation in Meldungen des MIS

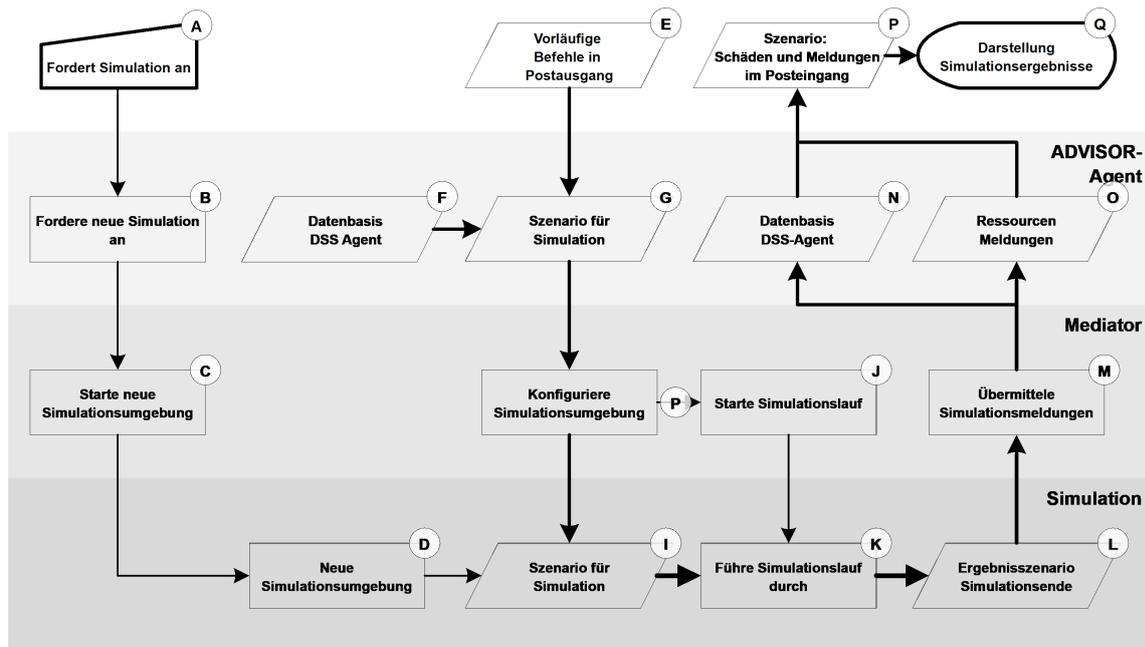


Abbildung 8.4.: Simulation von Befehlen zur Ressourcenzuordnung

transformiert (Element M). Diese sowie der aktuelle Zustand der Gebäude werden an den ADVISOR-Agenten übergeben (Elemente N und O). Die aus der Simulation übergebenen Ressourcenmeldungen und Schäden werden durch den Agenten in den Postausgang des MIS bzw. in die Faktenbasis übertragen (Element P). Um Daten der Simulation von den realen Fakten oder denen anderer Simulationsdaten zu unterscheiden, werden sie mit der zu Beginn festgelegten Szenario-Id versehen. Das Ergebnisszenario kann über das MIS inspiziert werden. Durch die Auswahl des Szenarios werden sowohl die Kartenansicht als auch der Posteingang mit den entsprechenden Daten versehen (Element Q).



# 9. Implementierung

In den vorangegangenen Kapiteln wurden Vorgehensweisen und verwendete Verfahren zur Entscheidungsunterstützung beschrieben. Ihre prototypische Implementierung im DMT und die dabei verwendeten Technologien sind Inhalte der folgenden Abschnitte.

## 9.1. Verwendete Technologien

Im DMT sind die Komponenten zur aktiven Entscheidungsunterstützung und die Simulationsumgebung als *Multiagentensystem (MAS)* realisiert. Die MAS-Architektur prägt den Aufbau des Systems. Als Programmiersprache wird Java in der Standardedition (Java SE) genutzt [Ora16a].<sup>1</sup> Die berücksichtigten Standards und eingesetzten Software-Frameworks beschreiben die folgenden Abschnitte.

### 9.1.1. High Level Architecture (HLA)

Die *High-Level-Architecture (HLA)* wurde Mitte der 1990er-Jahre durch das *Defense Modeling and Simulation Office (DMSO)* des *Department of Defense (DoD)* der Vereinigten Staaten von Amerika (USA) spezifiziert. Ziel war die Schaffung einer Plattform zur Entwicklung übertragbarer und wiederverwendbarer Komponenten für Simulationen im militärischen Training. HLA wurde inzwischen als IEEE-Standard für verteilte Simulationssysteme (vgl. [IEE00a, IEE00b, IEE00c]) spezifiziert. Seine Entwicklung geht zurück auf das *SIMulator NETworking- (SIMNET-)* Projekt, welches zwischen 1983 und 1990 die Zusammenarbeit autonomer Simulatoren untersuchte und mit der *Distributed Interactive Simulation (DIS)* weitergeführt wurde. Deren Kommunikationsprotokoll wies keine Möglichkeit zur Zeit-Synchronisation zwischen den Simulatoren auf. Dieses Problem wurden mit den *Aggregate Level Simulation Protocols (ALSP)* und der *Parallel Discrete Event Simulation (PDES)* [Fuj90] untersucht. Die Erkenntnisse aus dem DIS-Protokoll sowie der Forschung in ALSP und PDES sind in HLA eingeflossen (vgl. [Tah88, Ney97, WWG93, Fuj90]).

In HLA wird die gesamte Simulation als *Federation* und die an ihr beteiligten Simulatoren als *Federates* bezeichnet. Ein Federate kann ein komplexer Simulator z. B.

---

<sup>1</sup>Eine Einführung in die Sprache bietet [Ull11].

für ein Feuer sein, aber auch ein einfaches, mit entsprechender Schnittstelle ausgestattetes physikalischen Gerät oder eine passive Komponente, die lediglich Ergebnisse protokolliert. Die IEEE Spezifikation [IEE00a] gibt grundlegende Vorgaben, die HLA-Simulatoren erfüllen müssen, um miteinander interagieren zu können. Ein typisches Beispiel ist die Koordination der Simulationszeit zwischen den Federates. Ein Austausch von Informationen zwischen Komponenten ist nur möglich, wenn ein gemeinsames Daten- und Interaktionsmodell genutzt wird. Daher beschreibt das *Object Model Template (OMT)* die Klassenhierarchien aller Objekte und Interaktionen in der Federation. Im OMT beschreibt das *Federate Object Model (FOM)* das interne Modell eines einzelnen Federates und das *Simulation Object Model (SOM)* das der Gesamtsimulation. Die Instanzen des OMT werden im FOM/SOM-Lexikon abgelegt. Dieses beschreibt die Schnittstellen eines Federates bzw. der gesamten Federation nach innen und außen. Dazu sind die Klassenhierarchien von Objekten und Interaktionen sowie deren Attribute bzw. Parameter definiert. Ebenso enthalten sind Metadaten über die Herkunft und den Zweck des Modells. Das OMT beschreibt auch das in der Federation verwendete Zeitmodell, dessen interne Darstellung im HLA-System sowie Synchronisationspunkte der Federates. Das Modell normiert Struktur, Syntax und Codierung von Informationen und Nachrichten innerhalb der Simulation ([IEE00b]) Dies beinhaltet auch technische Details, wie die Implementierung der Datenverteilungsroutinen (z. B. die Nutzung der Internetprotokolle TCP/IP oder UDP) oder das Bitmuster zur Codierung von Datentypen.

Die *Runtime Infrastructure (RTI)* ist die zentrale Komponente einer HLA-Umgebung. Sie übernimmt die Kontrolle aller Kommunikations- und Koordinierungsaufgaben. Die RTI verteilt alle Nachrichten innerhalb der Federation. Sie steuert und koordiniert den Ablauf der Simulation in den Federates. Von ihren Diensten sind alle Simulatoren einer Federation abhängig. Die Dienste lassen sich in sieben Klassen aufteilen: (1) Das *Federation Management* beinhaltet Dienste zum Erzeugen und Löschen einer Federation sowie zum Anbinden und Loslösen ihrer Federates. (2) Dienste zum Veröffentlichen oder Abonnieren von Objekten und Interaktionen durch Federates bietet das *Declaration Management*. (3) Die Verwaltung von Objektinstanzen und die Bereitstellung ihrer Updates an abonnierende Federates ist die Aufgabe der *Object-Management-Dienste*. (4) Den Besitz dieser Objekte bzw. deren Übertragung regeln die Dienste des *Ownership Management*'s. (5) Die Aufgabe der *Time-Management-Dienste* ist die Abstimmung der Zeitmodelle zwischen einzelnen Federates. (6) Das *Data Distribution Management* stellt effiziente Datenübertragungsmechanismen für die Federation bereit. (7) Als letzte Klasse bieten die *Support Services* allgemeine Hilfsdienste für die Verwaltung der Federation.

### 9.1.2. Einsatzgebiete von HLA

Aufgrund seiner Herkunft und Zielsetzung wird HLA hauptsächlich für Simulationen im militärischen Bereich eingesetzt. Ein typisches Beispiel dafür gibt Su et al.

[SKY<sup>+</sup>04] mit Simulationen für die Unterwasserkriegführung. Forschungsergebnisse aus dem militärischen Bereich werden auf regelmäßig stattfindenden Workshops der *Interoperability Standards Organization (SISO)* ausgetauscht. HLA findet aber auch in der zivilen Forschung Anwendung. Bei Bruzzone et al. [BMR<sup>+</sup>05] kommt es zur Simulation einer Supply Chain zum Einsatz. Weitere Beispiele beschäftigen sich mit Logistik [RKS<sup>+</sup>98], der Abbildung von verteilten Produktionssystemen [UÖK09] oder der Integration von Simulatoren einer digitalen Fabrik [SSH03, Str03]. Arbeiten aus dem Themenbereich Katastrophen finden sich ebenfalls. Klein [Kle01] beschreibt die Unterstützung des Katastrophenmanagements bei städtischem Verkehrsmanagement durch Simulationen. Im *FiRSTE-Projekt* wurde ein HLA-basierter Simulator zum Training von Ressourcen für den Feldeinsatz in Form einer virtuellen dreidimensionalen Umgebung erstellt [THH<sup>+</sup>03]. Einen ähnlichen Hintergrund weist der *Naval Tactical Trainer* der Firma IFAD auf, der eine Umgebung für ein virtuelles Gruppentraining von Einsatzkräften und den Einsatzleitern vor Ort zur Verfügung stellt [IFA16]. Bowers und Prochnow [BP03] kommen zum Ergebnis, dass HLA für computerbasierte Katastrophenschutzübungen geeignet ist, vor allem durch seine auf Interoperabilität ausgelegte Infrastruktur und die umfangreich vorhandenen Erfahrungen im militärischen Bereich. Interessant ist hierbei auch die Übertragbarkeit militärischer Simulatoren auf Fragestellungen des Zivilschutzes, wie z. B. solche aus dem Bereich Logistik.

Als HLA-Infrastruktur stellte die DMSO mit *ebis 2002* eine kostenfreie Implementierung einer RTI für *C++*, *Java*, *Ada* und *IDL* zur Verfügung. Diese wurde allerdings eingestellt. Zwischenzeitlich gab es nur noch Versionen kommerzieller Anbieter, wie z. B. von MaK, der Mitsubishi Space Software Company, Pitch und SAIC. Im Rahmen der Arbeit wurde zunächst auf eine Version von Pitch zurückgegriffen, die neben ihrer RTI auch Tooling für die Modellierung des OMT liefert (siehe [Pit16]). Seit Mitte 2009 steht mit *PORTICO* [Por16] eine Open-Source-Implementierung der aktuellen HLA-Spezifikation (IEEE 1516) zur Verfügung, welche von der Simulationskomponente des DMT genutzt wird.

Als Infrastruktur für eine Simulationsumgebung stellt HLA ideale Bedienungen bereit und bietet mit der RTI Lösungen für Probleme wie die zeitliche Synchronisation (siehe [JA09]) und den reihenfolgetreuen Informationsaustausch zwischen den einzelnen Simulatoren.<sup>2</sup> Abhängig von der Granularität, mit der die Simulatoren modelliert sind, ihrer Autonomie und ihrer Interaktion mit der simulierten Umgebung erfüllen sie die Anforderungen an Softwareagenten. Im Fall des DMT ist die Simulationsumgebung ein eigenständiges MAS.

### 9.1.3. Agentenplattformen

Agententechnologie kommt in verschiedensten Bereichen mit den unterschiedlichsten Zielen zum Einsatz. Für die Implementierung wird meist eine Plattform eingesetzt,

---

<sup>2</sup>Reihenfolgetreu bedeutet, dass Meldungen sich nicht auf der Versandstrecke überholen können.

welche die Umsetzung des Konzeptes eines Agenten bzw. Multiagentensystems unterstützt. Als Plattformen stehen verschiedene Programmiersprachen, Frameworks und Entwicklungsumgebungen zur Verfügung.

Die meisten Plattformen basieren auf vorhandenen Programmiersprachen, die mithilfe von Bibliotheken oder einer Entwicklungsumgebung um Eigenschaften zur Umsetzung von Softwareagenten erweitert werden. Merkmale sind u. a. die Unterstützung für den Aufbau wissensbasierter Systeme, die Möglichkeit Agenten nach dem *BDI Model (Belief, Desire and Intentions)* zu entwickeln sowie die Unterstützung bei der Umsetzung mobiler Agenten. Es existieren auch Ansätze, die eine eigene Programmiersprache festlegen. Hierbei ist zwischen deklarativen und imperativen Sprachen zu unterscheiden. Bei deklarativen Sprachen steht im Vordergrund was berechnet werden soll, und nicht wie. Der Handlungsablauf zur Berechnung wird aus der Deklaration konstruiert. Beispiele für deklarative Sprachen sind *Prolog*, *Erlang* und *Haskell*. Prolog z. B. ist gut geeignet für die Definition einer Datenbasis aus Fakten und Regeln, die dazu dient Anfragen zu beantworten (vgl. [CM03]). Imperative Sprachen beschreiben das „Wie“ einer Handlung. Ein Programm besteht aus vorgegebenen Handlungsanweisungen, die in einer festgelegten Reihenfolge abgearbeitet werden. Beispiele für imperative Sprachen sind *C*, *Java* und *Fortran*.

Ein Beispiel für eine deklarative Sprache zur Modellierung von mobilen Agenten ist *CLAIM (Computational Language for Autonomous, Intelligent and Mobile Agents)* [ES03]. Sie ermöglicht die Definition einer eigenen Wissensbasis für jeden Agenten, die durch Vorwärts- oder Rückwärtsverkettung ausgewertet werden kann. Das Ergebnis der Auswertung zusammen mit vorgegebenen Zielen steuert das Verhalten eines Agenten. Bei *MINERVA* liegt der Schwerpunkt auf logischer Programmierung [Lei03]. Mithilfe von *MDLP (Multi-Dimensional Dynamic Logic Programming)* wird eine Wissensbasis definiert, die anhand von in *KABUL (Knowledge And Behavior Update Language)* definierten Regeln ausgewertet und dabei um neue Fakten erweitert wird. Auf Grundlage dieser Fakten bestimmen Verhaltensregeln die Handlungen des Agenten. Während in der Forschung deklarative Sprachen weit verbreitet sind werden in der klassischen Softwareentwicklung imperative Sprachen bevorzugt. Ein Beispiel für eine imperative Sprache zur Definition von Agenten ist *3APL*. Sie unterstützt das Konzept von BDI-Agenten und nutzt logische Programmierung um Überzeugungen, Ziele und Pläne der Wissensbasis zu modellieren. Für 3APL ist eine grafische Entwicklungsumgebung verfügbar, die beim Implementieren und beim Testen der Agenten unterstützt (siehe [tH03, DvM05]). Neben den spezifischen Sprachen gibt es Frameworks wie z. B. *Zeus* [WJ06], deren Schwerpunkt auf der Unterstützung der Entwicklung durch eine grafische Oberfläche liegt. Eine Kombination grafischer Tools mit einer eigenen Sprache bietet *Agent Factory* [RCO04]. Zur Definition von Agenten nach dem BDI-Model dient eine eigene Sprache, die durch Entwicklungswerkzeuge (vgl. [BBD<sup>+</sup>06]) unterstützt wird, wie einem Tool, um Agenten aus Sequenzdiagrammen der *Unified Modeling Language (UML)* (siehe [BRJ98]) zu erzeugen.

Mehrere Agentenplattformen stehen in der Programmiersprache Java zur Verfügung.

Sie erweitern entweder den Sprachumfang um eigene Elemente, wie die *JACK Agent Language (JAL)* [AOS15], oder sie nutzen die Möglichkeiten von Objektorientierung, um durch Bibliotheken die Entwicklung von Software-Agenten zu unterstützen. Beispiele hierfür sind *JADE (Java Agent DEvelopment Framework)* [BCPR08] oder *Jadex* [PBJ13]. Alle drei genannten Beispiele unterstützen die Entwicklung von BDI-Agenten<sup>3</sup> und bieten zur Entwicklung außerdem eine eigenständige IDE bzw. eine Erweiterung für eine Java IDE. Über das wissenschaftliche Umfeld hinaus haben sie den Anspruch, auch in kommerziellen Anwendungen das Architekturkonzept von Softwareagenten zu ermöglichen.

*JADE*, *Jadex*, *3APL* und *Agent Factory* unterstützen die Spezifikationen der *Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA)* [FIP16, GLMS07], welche einen Standard für die technische Infrastruktur eines MAS definiert [Woo02]. Kernelemente einer FIPA-Agentenplattform sind das *Agent Management System (AMS)* und der *Directory Facilitator (DF)*. Das AMS verwaltet die in einer *Agent Platform (AP)* zusammengefassten Entitäten. Jeder Agent ist mit seiner eindeutigen *Agent Identifier (AID)* bei ihr registriert. Jeder bei einer *AMS* registrierte Agent kann von ihr gesteuert werden. Ergänzt wird die *AMS* durch den *DF*, bei welchem die Agenten sich mit ihren Eigenschaften registrieren. Dazu zählen u. a. die von einem Agenten bereitgestellten Services sowie die unterstützten Protokolle und Ontologien. Andere Agenten können sich beim *DF* über die in einer *AP* verfügbaren Agenten informieren und sie anhand ihrer Eigenschaften suchen. Diese Suche ersetzt eine feste Definition der Adressaten einer Nachricht. Durch sie können Agenten flexibel einer Umgebung hinzugefügt oder aus ihr entfernt werden, wobei trotzdem sichergestellt ist, dass Nachrichten die jeweils betroffenen Agenten erreichen. Diese Entkopplung ermöglicht eine flexible Systemarchitektur. Bei der Strukturierung der Kommunikationen zwischen Agenten unterstützt die *Agent Communication Specifications (ACL)*. Sie definiert eine Sprache für den Nachrichtenaustausch zwischen Agenten sowie die Möglichkeiten der Codierung der übertragenen Daten.

### 9.1.4. Agentenplattform JADE

Als Plattform des im DMT entwickelten MAS kommt JADE zum Einsatz, ein Open-Source-Projekt in der Programmiersprache Java als Framework zur Umsetzung FIPA-AP konformer Agentensysteme mit einer langen Versionshistorie und aktiver Weiterentwicklung.<sup>4</sup> Dessen Middleware bietet eine einfache Möglichkeit, verteilte MAS umzusetzen sowie Werkzeuge zur Fehlersuche, zur Laufzeitüberwachung und zur grafischen Modellierung. Auf Entwicklerseite ist keine Kenntnis spezifischer Sprachkonstrukte notwendig, da der normale JAVA-Sprachumfang verwendet wird. JADE bietet Möglichkeiten zur Umsetzung typischer Agentenkonzepte

---

<sup>3</sup>JADE lässt sich über BDI4JADE [Nun14] um die entsprechende Fähigkeit erweitern.

<sup>4</sup>Details zu JADE finden sich auf der Projektseite [Tel16]. Die in der vorliegenden Arbeit beschriebene Implementierung baut auf Version 4.0 (Release vom 20.04.2010) auf, aktuell ist Version 4.5 (Release vom 08.06.2017).

wie z. B. BDI. Zur Überwachung und Steuerung der MAS-Umgebung dient eine grafische Oberfläche. Aufbauend auf JADE und in Ergänzung zum FIPA-Standard, steht die Erweiterung *Workflows and Agents Development Environment (WA-DE)* verfügbar. Sie ermöglicht es, Arbeitsabläufe der Agenten in der *XML Process Definition Language (XPDL)* [Wor15] zu definieren. Das *Workflow LiFe cycle management environment (WOLF)* bietet für die Prozessmodellierung ein grafisches Frontend, welches als Notation die *Business Process Modelling Notation (BPMN)* [All10] nutzt.

Die Systembestandteile des DMT sind als einzelne Softwareagenten strukturiert. Die ADVISOR-Agenten haben die Eigenschaften wissensbasierter BDI-Agenten, die als autonom agierende Entitäten ihre Handlungen den Gegebenheiten in ihrer Umwelt anpassen. Die Architektur des DMT ist als Sammlung verschiedener Komponenten konzipiert, die abhängig von der Situation, in der das System eingestetzt wird, zusammengestellt werden. Es ist einfach und flexibel möglich jederzeit bestehende Komponenten aus dem Verbund zu entfernen oder neue zu integrieren. Das Architekturkonzept als MAS ermöglicht eine entsprechend lose Kopplung von Komponenten. Die Entscheidung für JADE als Plattform des Systems ergab sich aufgrund der folgenden Eigenschaften [BCPR08].

### Eigenschaften der JADE Plattform

Die JADE-Plattform weist eine sehr gute **Skalierbarkeit und Portabilität** auf. Sie ist auf Java Umgebungen für Geschäftssysteme (JEE), den Desktop-Einsatz (JSE) und mobile Geräte (JME) lauffähig. Da die Agenten in einer speziellen Laufzeitumgebung ausgeführt werden, die sie von dem System, auf dem sie laufen, entkoppelt, müssen Systemspezifika bei der Implementierung eines Agenten so gut wie nie berücksichtigt werden. In einer JADE-MAS-Umgebung interagieren Agenten auf einem Server, auf dem rechenaufwendige Simulationen laufen, mit denen auf den Desktop-Rechnern der Entscheidungsträger im Stab und den mobilen Agenten von Einsatzkräften im Feld. Der Peer-to-Peer-Ansatz der Plattform und die Laufzeitumgebung aus verschiedenen Modulen lässt sich **flexibel** an unterschiedlichste Gegebenheiten anpassen, vom mobilen Betrieb (hohe Latenz, niedrige Bandbreite, wechselnde Erreichbarkeit und Adresse) bis hin zum fest vernetzten Rechner. Dies betrifft ebenfalls den Austausch von Nachrichten. Durch die Ad-Hoc-Fähigkeit, welche durch die *LEAP (Lightweight and Extensible Agent Platform)* Eigenschaft der JADE-Plattform unterstützt wird, können jederzeit neue Instanzen in ein bestehendes Multi-Agenten-Netzwerk eintreten und es auch wieder verlassen. Dazu lassen sich Nachrichten puffern und asynchron versenden. Sender und Empfänger müssen nicht zur gleichen Zeit online sein. Fällt z. B. die mobile Datenverbindung eines Agenten temporär aus, werden ihm währenddessen eintreffende Nachrichten zugestellt, nachdem wieder eine Verbindung besteht. Dies ist besonders für die Anbindung von Feldkräften interessant, die mit mobilen Geräten ausgestattet sind, da bei diesen keine dauerhafte Verbindung zum Datennetz sichergestellt ist. Die Suche

nach den Empfängern einer ACL-Nachrichten ist in einer FIPA-AP flexibel gestaltet. Agenten bieten die von ihnen bereitgestellten Services über einen verteilten Yellow-Book-Service an, in dem andere Agenten ihren passenden Kommunikationspartner suchen können. Agenten werden dabei über einen eindeutigen Namen identifiziert anstatt über eine Adresse. Unter dem Namen sind sie auch dann noch erreichbar, wenn sie auf eine andere Maschine wechseln.

JADE hat den Anspruch, trotz seiner Flexibilität und Fähigkeiten, die besonders im Forschungsumfeld von Interesse sind, einen **Reifegrad** aufzuweisen, der den Anforderungen von Industrieprojekten gerecht wird [CC]. Bezüglich der **Interoperabilität** bzw. der Möglichkeiten, externe Komponenten einzubinden, bietet JADE viele Optionen. Durch die Umsetzung des FIPA Standards können beliebige FIPA-konforme Agenten aus anderen Plattformen in ein JADE MAS eingebunden werden. Durch die Möglichkeit, *SOAP Web Service*<sup>5</sup> in die MAS-Infrastruktur einzubinden bzw. Methoden der Agenten auf diese Art nach außen zur Verfügung zu stellen, können externe Systeme leicht angebunden werden [GLMS07]. Auch bei der **Modellierung** der Systemarchitektur bietet JADE umfangreiche Möglichkeiten. Die „Pay-as-you-go“-Philosophie zwingt dem Anwender keine Konzepte auf, sondern erlaubt nur die Funktionalität zu nutzen, die benötigt wird. Dies ermöglicht leichtgewichtige Agenten, die z. B. keine Reasoning-Verfahren nutzen. WOLF stellt eine mächtige Ergänzung der FIPA-Funktionalitäten dar, indem es eine grafische Modellierung der Handlung von Agenten in Prozessdiagrammen ermöglicht. Das Format für den Nachrichtenaustausch innerhalb einer ACL kann sehr flexibel gewählt werden. Zur Codierung der Daten stehen verschiedenste Formate wie RDF oder XML zur Auswahl.

### 9.1.5. Weitere berücksichtigte Standards

Die Standards HLA und JADE spezifizieren jeweils eine eigenständige Infrastruktur für den Datenaustausch. Diese orientiert sich an den Anforderungen von Simulationen bzw. MAS. Zur Evaluation der Interoperabilität mit externen Systemen wurde die Integration der JADE-Agenten mit unterschiedlichen in Java verwendeten Standards für den Datenaustausch geprüft.

Häufig kommt beim Datenaustausch das Konzept einer *Message Oriented Middleware (MOM)* zum Einsatz. Eine MOM hat die Entkopplung von Versender und Empfänger zum Ziel. Im DMT wurde eine Implementierung des *Java Messaging Service (JMS)* als MOM-Infrastruktur für den Austausch von Nachrichten innerhalb der Einsatzleitung genutzt (siehe [HM15, THW05]). Die Anbindung an die Simulations- und MAS-Komponenten erfolgt über einen *JMS-Gateway-Agenten* als Adapter. Dieser setzt die Nachrichten aus MAS-Umgebung in JMS-Meldungen um

---

<sup>5</sup>*SOAP (Simple Object Access Protocol)* stellt ein vom *W3C (World Wide Web Consortium)* standardisiertes Protokoll zum Aufruf einer Methode auf einem entfernten Rechner dar [Wor07]. Eine Einführung in den Standard findet sich in [WCL<sup>+</sup>05].

und umgekehrt. Zur Integration einer *E-Mail-basierte* Infrastruktur [Res08] dient ein weiterer Gateway-Agenten, welcher den Empfang und den Versand von Mails aus bzw. an die Agentenumgebung ermöglicht. Diese Komponente übersetzt die Mailadresse in eine interne Adresse des MAS und stellt den Inhalt der Mail in einer DMT-Message bereit. Umgekehrt können durch das Verschicken einer DMT-Message an den Gateway-Agenten diese in E-Mails übersetzt werden.

JADE bietet bereits eine Anbindung der Agenten über *SOAP Webservices*. Für diese gab es zunächst verschiedene Umsetzungen (siehe [VH03, GC04, Ngu05]), bevor durch die FIPA Schritte zu einer Standardisierung erfolgten [GLMS07]. Agenten-Services werden danach über das *Web Service Integration Gateway (WSIG)* als Webservice zur Verfügung gestellt, wobei SOAP-Aufrufe in ACL-Request-Nachrichten umgewandelt werden. Dazu greift WSIG auf die Service Description im Directory Facilitator der FIPA Umgebung zurück, um die Aktionen gemäß der Ontologie aus der Service Description nach außen verfügbar zu machen. Das SOAP-Protokoll ist für die verschiedensten Betriebssystemen und für unterschiedliche Programmiersprachen verfügbar. Neben einer breiten Akzeptanz bietet es die Möglichkeit die Kommunikation zwischen Systemen abzusichern [SWS07]. Bei der für das DMT genutzten Infrastruktur hat dies wenig Relevanz, da die Komponenten in einem nicht öffentlichen Netzwerk agieren. Sollte ein System im Zivilschutz allerdings im Internet agieren und ggf. externe Systeme anbinden, ist die Absicherung der Kommunikation eine wichtige Eigenschaft. Eine Integration des SOAP-Services mithilfe von WSIG wurde im DMT prototypisch umgesetzt.

## 9.2. Das Disaster Management Tool (DMT)

Das *Disaster Management Tool (DMT)* demonstriert Funktionalitäten, welche auf den Ergebnissen aus Forschungsarbeiten am *Institut für Technologie und Management im Baubetrieb* im Katastrophenmanagement beruhen. Die Idee zu einem solchen System wurde zum ersten Mal von Markus et al. [MFL<sup>+</sup>04] beschrieben. Im Rahmen dieser Arbeit wurden bereits bestehende Methoden im Hinblick auf einen Einsatz zur Entscheidungsunterstützung erweitert [EF09] und um neue ergänzt. Zur Integration der daraus entwickelten Komponenten wurde eine Systemarchitektur auf Basis eines MAS entwickelt.

### 9.2.1. Systeme aus vorausgegangenen Forschungsarbeiten

Zur Beantwortung der Frage nach einer optimalen Ressourcenzuordnung bei der Bewältigung einer Katastrophe wurde von Rickers [Ric98] ein System entwickelt, welches sich Simulationenmethoden bedient. Aus Architektursicht stellt es einen Monolithen dar. In diesem wird für ausgewählte Ressourcenklassen mit vollständigen Informationen (siehe Abbildung 5.3) das Problem ihrer optimalen Zuordnung gelöst.

Aufbauend darauf entwickelte Fiedrich [Fie04] das modulare Multiagentensystem EQ-RESCUE auf Basis der HLA-Plattform. Mithilfe von Simulationsagenten bildet es die dynamische Entwicklung der Lage, die Handlung von Einsatzressourcen und die Arbeit des Führungsstabes ab. Die Agenten des Führungsstabes ordnen die Ressourcen nach vorgegebenen Regeln Einsatzorten zu, wobei sie auf das BDI-Konzeptes zurückgreifen. Das MAS ermöglicht außerdem, abhängig von den verfügbaren Ressourcen und initialen Schäden, die Prognose des Verlaufs eines Schadensereignisses. Neben EQ-RESCUE wurde auch die Schadenssimulation für Erdbeben EQSIM entwickelt [FLMS04]. Mit der HAZUS-Methodologie und auf Basis der geophysikalischen Eigenschaften eines Erdbebens berechnet es Prognosen für die Schäden an Gebäuden.

In der vorliegenden Arbeit wird ebenfalls ein MAS als Grundlage der Systemarchitektur verwendet. Die Agenten agieren allerdings in einer realen Umwelt und nicht autonom, sondern in Kooperation mit einem menschlichen Anwender. Die Ressourcen und die Schadenssimulation EQ-RESCUE bzw. EQSIM wurden als eigenständige Komponenten in das MAS integriert. Adapter binden sie in dessen JADE-Infrastruktur ein und integrieren sie in das Datenmodell des Gesamtsystems. Ihre Integration dient auch als Beispiel für die Umsetzung der auf Interoperabilität ausgelegten Systemarchitektur des DMT.

### 9.2.2. Bestandteile des Systems

Abbildung 9.1 gibt eine Übersicht über die Hauptbestandteile des DMT. Die HLA-Simulationsumgebung für die Katastrophenumwelt *DMT-SIM* ist über einen speziellen Agenten als eigenständige Komponente eingebunden. Die verschiedenen Agenten des JADE MAS steuern die *Mensch-Maschine-Interaktion (MMI)*, stellen aktive Entscheidungsunterstützung bereit und bieten Schnittstellen zu externen Diensten sowie Services. Die Message-Transport-Infrastruktur der JADE-Plattform dient als Integrationsschicht aller Bestandteile. Jede eigenständige Komponente ist daher als ein JADE-Agent mit FIPA-Schnittstelle implementiert. Die Verbindung der DMT-SIM-Umgebung mit den übrigen Komponenten des DMT erfolgt durch den *Mediator-Agent*. Die einzelnen Simulationsagenten interagieren nur innerhalb ihrer HLA-Umgebung. Der Mediator-Agent überträgt als Gateway Daten und Nachrichten aus der Simulationsumgebung heraus in die JADE-Infrastruktur und umgekehrt. Außerdem kann er die Simulationsumgebung aktiv steuern und neue Simulationen initiieren sowie bei bestehenden die Zeitfortschreibung beeinflussen. Dazu implementiert der Mediator sowohl eine Schnittstelle zur RTI der HLA-Umgebung, als auch zur Message-Transport-Infrastruktur des JADE MAS.

Die Agenten zur Simulation der Entwicklung von Gefahrenquellen interagieren mit denen bezüglich der Arbeit von Ressourcen (siehe dazu [Fie04]). Ihre Ergebnisse werden auf zwei Arten genutzt: (1) Auf Basis eines Szenarios mit vorgegebener Ressourcenzuordnung wird die Entwicklung der Gefahrenquellen im Zeitverlauf bestimmt.

(2) Als interaktive Simulation auf Basis eines vorgegebenen initialen Schadensszenarios, wird der Einsatz der Ressourcen durch die Mitglieder einer Einsatzleitung bestimmt. Ersteres unterstützt die Planung und Durchführung von realen Einsätzen. Letzteres dient zur Unterstützung bei der Schulung von Entscheidungsträgern.

Die ADVISOR-Agenten stellen Entscheidungsträgern als Anwendern des DMT Hilfestellungen für den Einsatz von Feuerwehr-, Ambulanz-, SAR- und Erkundungseinheiten bereit. Sie sind reine JADE-Agenten. Über den Mediator Agent haben sie Zugriff auf die Simulationsumgebung. Über eine MMI Agentenschnittstelle interagiert das *Management Information System (MIS)* mit den ADVISOR-Agenten im Rahmen der Entscheidungsunterstützung. Zwischen verschiedenen Instanzen des MIS erfolgt der Informationsaustausch über JMS-Nachrichten. Spezielle Gateway-Agenten im JADE MAS ermöglichen das Einbinden von E-Mails für den Informationsaustausch und die Integration von externen Systemen über SOAP-Webservices.

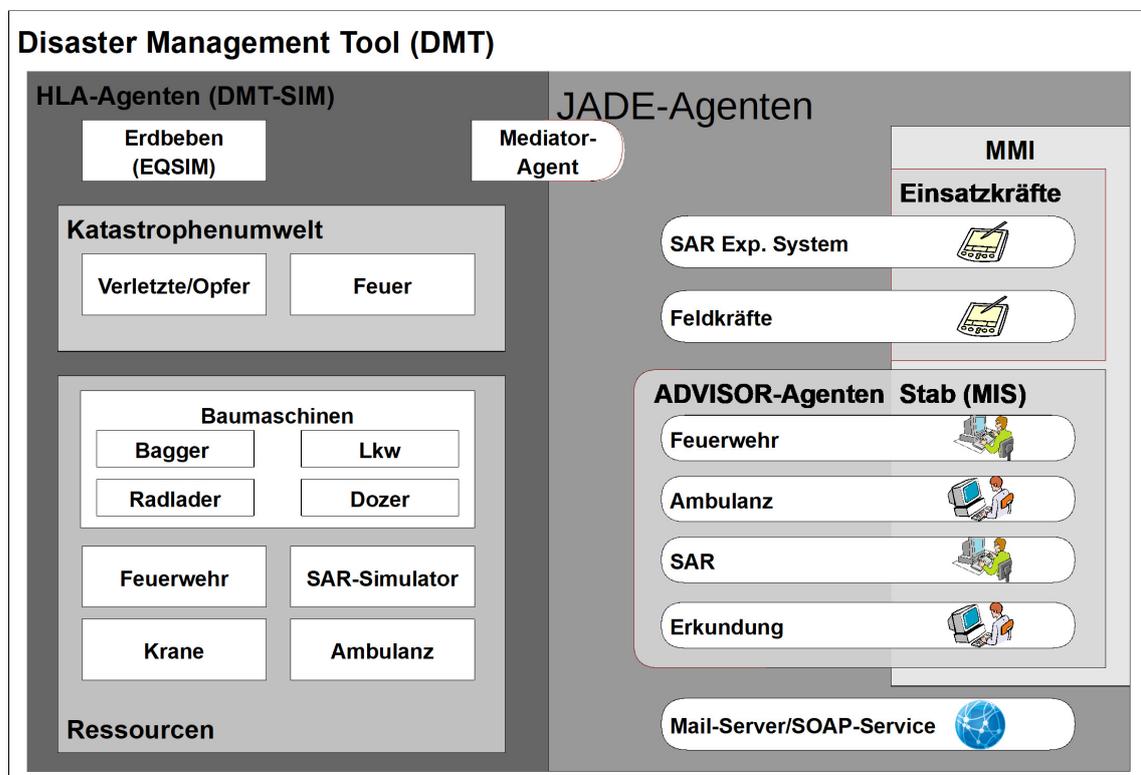


Abbildung 9.1.: Bestandteile des DMT

Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit sind die Bestandteile des DMT zur Unterstützung des Personals in der Einsatzleitung. Dies umfasst die DMT-SIM-Komponente, die ADVISOR-Agenten zur Entscheidungsunterstützung sowie das MIS als Benutzungsoberfläche. Das DMT integriert noch weitere Elemente, welche hauptsächlich Einsatzkräfte vor Ort unterstützen sollen. Das von Schweier und Markus [SM08] beschriebene Expertensystem für Such- und Rettungskräfte wurde in das

DMT eingebunden, um Nachrichten empfangen und versenden zu können. Der Prototyp einer App für Mobiltelefone mit dem Betriebssystem Android<sup>6</sup> ermöglicht es Einsatzkräften im Feld, mithilfe portabler Geräte Informationen mit der Einsatzleitung auszutauschen. In beiden Fällen kommt die JADE-LEAP zum Einsatz. Eine Erweiterung die es ermöglicht JADE auch auf Mobilgeräten zu nutzen. Sie verbindet die Applikation auf dem Android Betriebssystem und das Expertensystem über eine mobile Datenverbindung mit der Message-Transport-Infrastruktur des JADE MAS.

### 9.2.3. Architektur

Das DMT implementiert die in den vorherigen Kapiteln beschriebenen Modelle und Methoden. Mit Blick auf die Softwarearchitektur lassen sich seine Komponenten in eine *Drei-Schichten-Architektur (Three-Tier Architecture)* [Bal99] einordnen. Dies ist ein bewährtes Vorgehen zum Strukturieren von Systemen.. Im vorliegenden Fall werden die drei Schichten ergänzt um eine Querschnittsebene für den Datenaustausch:

1. Präsentationsschicht (GUI-Schicht): umfasst Konzepte und Elemente der Benutzungsschnittstelle, die der Darstellung von Daten und der Interaktion mit dem Anwender dienen.
2. Logikschicht (Fachkonzept-/Anwendungsschicht): beinhaltet Elemente, die Verarbeitungsmechanismen und Anwendungslogik beschreiben bzw. implementieren.
3. Datenhaltungsschicht (Persistenzschicht): Datenmodell der Applikation, welches das Laden und Speichern ihres Zustandes ermöglicht.
4. Datenaustausch: Die Komponenten eines MAS agieren zwar autonom, sind aber auf Interaktion mit der Umwelt und den anderen Agenten angewiesen, um ihren Einsatzzweck erfüllen zu können. Da ein Ziel bei der Konzeption der Architektur des DMT die Interoperabilität war, ist das Thema Datenaustausch hervorgehoben. Dies macht es bei den Schichten der Systemarchitektur zu einer eigenständigen Querschnittsebene, die orthogonal zu den drei Schichten zu berücksichtigen ist.

Die Komponenten des DMT lassen sich den beschriebenen Ebenen wie folgt zuordnen:

- Alle Agenten nutzen als Ablage ihrer Informationen die Strukturen der *Fakten- und Wissensbasis* und der darauf aufbauenden Persistenzschicht. Die statischen Daten der Faktenbasis, wie Attribute von Ressourcen oder Umweltobjekten sowie Konstanten, die Präferenzen festlegen, werden während der Initialisierung einer Komponente aus der Datenbank geladen. Die Wahrnehmung der Umwelt liefert den dynamischen Anteil der Fakten. Der Inhalt der

---

<sup>6</sup>Eine Einführung in die Entwicklung von Android-Applikationen gibt [RLMM09].

Faktenbasis lässt sich jederzeit in ein XML Dokument serialisieren.<sup>7</sup> Dadurch kann der aktuelle Zustand einer Systemkomponente persistiert und später wieder hergestellt werden. Das Serialisieren von Teilen der Faktenbasis ermöglicht den Austausch von Informationen zwischen Agenten, um z. B. deren jeweils individuelle Einschätzung der Lage untereinander zu teilen. Bei den ADVISOR-Agenten ergänzen die Regeln der Wissensbasis die Faktenbasis. Sie stellen den Übergang zu Logikschicht dar.

- Der Steuerung der Entscheidungsunterstützung basiert auf dem Prozessmodell der Entscheidungsfindung aus Unterabschnitt 3.4.2. Für die Anforderungen in den jeweiligen Prozessschritten bieten die *ADVISOR-Agenten* Hilfestellungen bei der Datenverarbeitung, der Informationsdarstellung und der Situationsbewertung. Die Logikschicht zur Entscheidungsunterstützung liegt somit fast ausschließlich bei diesen Softwareagenten.
- Die Komponente *DMT-SIM* stellt eine Simulationsumgebung zur Verfügung, welche Prognosen der möglichen Entwicklungen der Lage in der Katastrophenumwelt bereitstellt, unter Berücksichtigung der darin agierenden Ressourcen. Auch die Simulationsagenten in ihrer HLA-Umgebung sind als Teile der Logikschicht anzusehen.
- Die *Information Exchange Specification (IXS)* dient dem Datenaustausch zwischen den Komponenten des DMT und ist auf dieser Querschnittsebene einzuordnen. Neben Zuarbeiten für die Verarbeitungsmechanismen auf der Logikschicht steht bei den verwendeten Protokoll- und Datenformaten die einfache Anbindung weiterer Komponenten und externer Systeme im Vordergrund. Ihre Modellierung erfolgte daher im Hinblick auf eine hohe Interoperabilität.
- Das *MIS* stellt die Präsentationsschicht des DMT dar [Wer07]. Seine Oberfläche dient der Lagedarstellung und der Nachrichtenübermittlung. Gesteuert durch die ADVISOR-Agenten präsentiert sie deren Hilfestellungen für den Entscheidungsträger. Für den Datenaustausch nutzt das MIS ein eigenständiges Protokoll auf Basis des Java Messaging Service (JMS) sowie eine unabhängige Logik- und Datenhaltungsschicht.

Weitere Details zur Umsetzung der einzelnen Komponenten und ihrer Architektur werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

### 9.3. Systemaufbau

Die Strukturierung und die Integration der unterschiedlichen Systemkomponenten des DMT erfolgen gemäß der Philosophie eines MAS. Abbildung 9.2 gibt einen Überblick über die Komponenten. Die Datenbasis ist eine Instanziierung des in Kapitel 5

<sup>7</sup>In der Informatik bezeichnet Serialisierung die Abbildung strukturierter Daten auf eine sequenzielle Darstellung. Sie wird zur Persistierung von Objekten in Dateien oder ihre Übertragung verwendet. Bei XML als Format der sequenziellen Darstellung spricht man auch von Marshalling.

beschriebenen Datenmodells. Sie weist die in Abbildung 9.6 dargestellte Struktur auf. Anhand von Meldungen und Nachrichten als Wahrnehmungen aus ihrer Umwelt erweitern die ADVISOR-Agenten stetig ihre Faktenbasis. Befehle und Meldungen sind im Applikationsspeicher zusammen mit vorberechneten Daten, wie den Listen der aktuellen Einsatzstellen *Ext.Einsatzstellen* oder der aktiven Schäden *Ext.AktiveSchäden*, abgelegt.

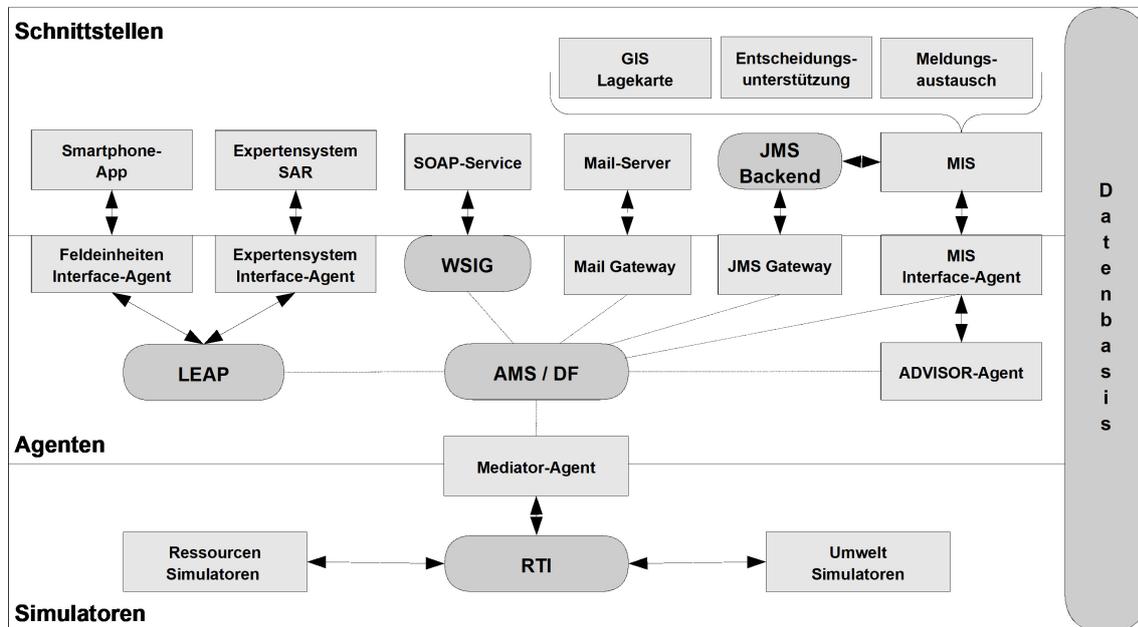


Abbildung 9.2.: Systemaufbau des DMT

Das DMT nutzt mit JADE eine Implementierung der in Unterabschnitt 9.1.4 beschriebenen FIPA *Agent Platform* (AP). Im Architekturbild sind die Kernelemente der MAS-Infrastruktur dargestellt, das *Agent Management System* (AMS) und der *Directory Facilitator* (DF) sowie die LEAP-Komponenten zur Anbindung mobiler Agenten. Der *Mediator-Agent* verbindet das JADE MAS mit der Simulationsumgebung auf Basis der *High Level Architecture* (HLA). Als Implementierung der HLA *Runtime Infrastructure* (RTI) wird PORTICO [Por16] eingesetzt. HLA bietet Lösungen für typische Herausforderungen im Simulationsumfeld, wie Zeitfortschreibung und Reihenfolgetreue von Nachrichten. Eine MAS-Plattform wie JADE stellt dies nicht bereit, bietet allerdings bezüglich Flexibilität und Portabilität Vorteile. Daher werden im DMT beide Standards entsprechend den Problemstellungen eingesetzt. Da sich die Konzepte hinter den beiden Umgebungen allerdings teilweise unterscheiden, ist eine Adapterschicht notwendig. Während eine Simulation eine explizite Zeitsteuerung benötigt, ist dies in Systemen, die mit einer realen Umwelt interagieren, nicht nötig. Auch die Verteilung der Daten unterscheidet sich. Bei HLA werden alle Informationen zentral über die RTI von einem Agenten auf zuvor definierte Ziele verteilt. Bei einer FIPA AP geben AMS und DF lediglich Auskunft

über mögliche Zieladressen. Die eigentliche Datenübertragung erfolgt direkt zwischen den einzelnen Agenten. Die Übersetzung zwischen den Standards übernimmt der *Mediator-Agent*. Außerdem steuert er über die RTI Lebenszyklus und Zeitverlauf der Simulationen. Durch *AgentDialog*-Meldungen können ADVISOR-Agenten so Simulationsläufe initiieren und bestehende steuern.

### 9.3.1. Simulation

In der HLA-Simulationsumgebung agieren verschiedenartige Agenten. Unter Berücksichtigung einer geplanten Ressourcenzuordnung und Lage, prognostizieren Ressourcen- und Umweltagenten (siehe Abschnitt 6.2) die Entwicklung eines vorgegebenen Szenarios. Die Agenten sind reaktiv und handeln nur innerhalb ihrer Simulationsumwelt, welche durch die beim Simulationsstart geltenden Fakten festgelegt ist. Diese sind in der initialen Faktenbasis jedes Simulationsagenten abgelegt und werden im Verlauf der Simulation fortgeschrieben. Das Endergebnis eines Simulationslaufes ergibt sich aus der Vereinigung der Fakten aller Umwelt- sowie Ressourcenagenten.

Um Simulationsläufe unterscheiden zu können, erhalten sie mit der *Szenario-Id* einen eindeutigen Bezeichner. Jedes Simulationsszenario läuft in einer neu gestarteten Instanz mit eigener RTI und eigenen Simulationsagenten. Daher können mehrere Szenarien parallel und unabhängig voneinander ablaufen. Der Mediator-Agent steuert und koordiniert die einzelnen Simulationsinstanzen. Er übersetzt außerdem die in der OMT definierte Kommunikation der HLA-Agenten in das von den JADE-Agenten verwendete DMT-Message-Format. Dazu filtert der Mediator aus der Kommunikation der RTI die relevanten Nachrichten heraus, erzeugt entsprechende DMT-Message-Nachrichten und stellt sie den daran interessierten JADE-Agenten zu. Die Zuordnung einer Nachricht zu einem Agenten erfolgt aufgrund der Meldung seiner Eigenschaften beim DF.

Anhand des Zeitstempels der Nachrichten können diese sortiert und der Verlauf einer Simulation kann nachvollzogen werden. Beim Einsatz der Simulatoren für Übungen dient der Zeitstempel zusätzlich zum Abgleich bzw. der Fortschreibung der Simulationszeit. Im Übungsfall liefern simulierte Ressourcen Schadens- sowie Statusmeldungen an den Systemnutzer und führen von ihm erteilte Befehle aus. Eine zeitliche Synchronisation verhindert, dass sich die Zeitstempel eingehender Nachrichten aus der Simulation und von Nutzer ausgehende Nachrichten überholen und zu Inkonsistenzen führen. Im Mediator-Agenten ist dazu ein Zeitgeber integriert, der, nach Vorgabe eines Faktors in Relation zur Echtzeit, den Simulationsverlauf taktet. Dies vermeidet bzw. kompensiert Verzögerungen und Zeitsprünge, die aufgrund der diskreten Zeitfortschreibung in HLA auftreten können.

### 9.3.2. Entscheidungsunterstützung

Die in JADE entwickelten ADVISOR-Agenten stellen dem Anwender die Entscheidungsunterstützung zu den in Kapitel 8 beschriebenen Schritten bereit. Schwerpunkt ihrer Hilfestellungen ist die Priorisierung der Gefahrenbereiche und die Zuordnung von Ressourcen. Sie sind als autonom handelnde, deliberative BDI-Agenten konzipiert, die in enger Kooperation mit den unterstützten Entscheidungsträgern agieren (siehe Unterunterabschnitt 4.3.7.2). Als Agenten nehmen sie ihre Umwelt über *Sensoren* wahr und entwickeln, auf Grundlage der Auswertung ihrer Sensordaten, mithilfe von *Regeln* eine *Überzeugung* in Bezug auf die aktuelle Situation in der Umwelt. Anhand dieser Überzeugung werden ebenfalls durch Regeln definierte *Wünsche* auf das Erreichbare reduziert, was die *Ziele* des jeweiligen ADVISOR-Agenten festlegt. Die *Absichten* schränken die Ziele nochmals auf die vielversprechendsten ein. Deren Umsetzung erfolgt in *Plänen*, die durch *Handlungen* realisiert werden (für Details dieses Konzeptes siehe Unterunterabschnitt 4.3.7.2). Im ADVISOR-Agent stellt sich dieser Ablauf wie folgt dar:

- Als *Sensoren* dienen die Meldungen aus dem Katastrophengebiet sowie die Interaktion mit dem menschlichen Anwender über das MIS. Da Nachrichten im DMT-Message-Format ohne aufwendige Aufbereitung durch den Rechner ausgewertet werden können, ist eine automatisierte Extraktion der relevanten Informationen möglich. Im ersten Auswertungsschritt erfolgt eine interne Bewertung, die neue Meldungen aus dem Einsatzgebiet anhand der in Abschnitt 7.2 beschriebenen *Regeln* interpretiert. Basierend auf diesen Fakten ergeben sich aufgrund weiterer Regel implizite Informationen, wie abgeleitete Fakten und Prognosen, die eine interne Bewertung ergänzen.
- Aus diesen Fakten ergibt sich die aktuelle *Überzeugung* des Agenten bezüglich der Situation in seiner Umwelt. Sie wird ergänzt und ggf. korrigiert durch die kooperative Risikobewertung der Gefahrenstellen zusammen mit dem Anwender (vgl. Abschnitt 8.2).
- Die *Wünsche* des Agenten sind in den Regeln und Präferenzen der Fakten- und Wissensbasis abgelegt. Würden die ADVISOR-Agenten autonom handeln, wäre die Auswahl eines Gefahrenbereiches und die Zuordnung der Ressourcen ein Schritt. Wünsche, Ziele, Pläne und Handlungen würden direkt ineinander übergehen. Durch die Kopplung mit dem Anwender im kooperativen Entscheidungsprozess werden diese Schritte dagegen voneinander getrennt und zum Teil in mehreren Iterationen durchlaufen, bevor mit der Ressourcenzuordnung die Handlung erfolgt. Hierbei werden, abhängig von der angefragten Hilfestellung, unterschiedliche Anforderungen berücksichtigt. So sind die Kriterien zur Priorisierung der Gefahrenbereiche zum Teil andere als die für die Ressourcenzuordnung.
- Ebenso wie die Wünsche sind auch die *Ziele* abhängig von der aktuellen Hilfestellung, die der Agent liefern soll. Im Falle der Gefahrenbereiche ist dies

deren Priorisierung. Bei der Ressourcenzuordnung beschreiben textuelle Hilfestellungen und die Abstufung ihres Beitrages für die Gefahrenbeseitigung die Ziele.

- Die textuellen Hilfestellungen und die Abstufung der Relevanz von Ressourcen sind Teil des Wissens, welches zu den *Plänen* eines Agenten gehört. Aus ihnen ergeben sich die Absichten, wie die Empfehlung der Zuordnung einer Ressource. Die Entscheidung darüber, ob und inwieweit die vorgeschlagenen Absichten des Agenten umgesetzt werden, liegt im Ermessen des Anwenders. Er erteilt die Zustimmung zu den nötigen *Handlungen*, wie z. B. zum Erstellen eines Einsatzbefehls.

Die Abläufe im Agenten und der Wechsel zu anderen Wünschen und Zielen steuern *Ereignisse* (*Events*). Sensorischer Input, interne Auswertungen oder *AgentDialog*-Nachrichten lösen diese aus und führen dazu, dass sich Überzeugungen, Ziele oder Pläne ändern. Für jedes Ereignis gibt es einen oder mehrere Empfänger, welche die Änderung herbeiführen. Eine neue Meldung löst z. B. zunächst ein Ereignis aufgrund der eingehenden Nachricht aus; dieses Ereignis setzt Methoden zu dessen Ablage und Auswertung in Gang. Als Folge der Auswertung werden weitere Ereignisse ausgelöst, die zu einer Neubewertung der Überzeugung und der Aufforderung an den Nutzer zu einer kooperativen Risikobeurteilung führen. Die Systemarchitektur entkoppelt die Interaktion zwischen Agent und Benutzungsoberfläche. Statt die ADVISOR-Agenten direkt in das MIS zu integrieren, implementiert dieses einen Interface-Agenten. Dieser interagiert mit den ADVISOR-Agenten über ACL-Nachrichten im AgentDialog-Format.

### 9.3.3. Externe Schnittstellen

Wie bereits in Unterabschnitt 9.2.2 erläutert, wurden die JADE-MAS-Umgebung des DMT um weitere externe Schnittstellen ergänzt. Zum Versand von Nachrichten wurden neben dem MIS weitere Systeme für den Empfang und Versand von Meldungen im DMT-Message Format angebunden. Das von Schweier und Markus [SM08] beschriebene Expertensystem zur Unterstützung einer Einsatzleitung vor Ort bei Gebäudeeinstürzen wurde um eine Anbindung an die JADE-MAS-Umgebung ergänzt. Für Einsatzkräfte im Feld wurde ein eigenständiger Prototyp für Mobiltelefone mit dem Betriebssystem Android entwickelt. Beide Applikationen sind für den Einsatz bei Feldkräften vorgesehen. Bei diesen kann allerdings nicht von einer unterbrechungsfreien Verbindung mit einem Datennetz ausgegangen werden. Die Anbindung an die JADE-Plattform nutzt daher die LEAP-Erweiterung. Diese ermöglicht Ad-Hoc-Verbindungen sowie das Puffern von Nachrichten, um bei einer nicht bestehenden Datenverbindung eine Zustellung sicherstellen zu können. Neben der direkten Integration in die Agentenumgebung ermöglichen Gateway-Agenten bzw. das Web Service Integration Gateway (WSIG) das Einbinden externer Systeme, welche JMS oder SOAP nutzen. Auch eine prototypische Anbindung über E-Mail

wurde realisiert. Der Prototyp des DMT zeigt auf, dass eine Integration in eine heterogene technische Umgebung mit vertretbarem Aufwand möglich ist. Die größte Herausforderung für die Interoperabilität stellt das Codieren und Interpretieren der Übertragungsdaten dar. Wie das IXS-Format des DMT zeigt, sind XML und die Beschreibung als XSD dafür eine adäquate Lösung.

### 9.4. Datenaustausch

Datenformate einer offenen und erweiterbaren Systemarchitektur sind so zu konzipieren, dass sie die Anbindung von und die Datenverarbeitung in externen Anwendungen ermöglichen, ohne den reibungslosen Austausch zwischen den Systemkomponenten zu verkomplizieren. Um bei externen Systemen eine fehlerfreie Implementierung der Routinen für das Schreiben und Einlesen der Daten sicherzustellen, muss eine detaillierte Spezifikation von Struktur und Syntax vorliegen. Eine direkte Unterstützung der Syntax in möglichst vielen Programmiersprachen ist daher zu bevorzugen. Auf der semantischen Ebene ist es von Vorteil, wenn die Beschreibungssprache eine breite Palette streng typisierter Datentypen vorgibt, um das Datenmodell möglichst detailliert spezifizieren zu können. Ein einheitliches Verständnis der Bedeutung von Inhalten des Datenmodells ist nötig, um ihre korrekte Interpretation sicherzustellen. Eine Orientierung an existierenden Standards vereinfacht dies, da die Bedeutung von Elementen dort bereits erläutert wird.

Syntaktisch basiert das DMT-IXS auf der *Extensible Markup Language (XML)*. Als Beschreibungssprache des Datenmodells dient die *XML Schema Definition (XSD)*. XML und XSD sind in Softwareentwicklung weit verbreitet. Auch für den Zivil- und Katastrophenschutz existieren verschieden darauf basierende Formatspezifikationen für den Informationsaustausch. Keine der betrachteten Spezifikationen eignet sich als alleinige Lösung für das DMT. Um dem Anspruch an syntaktische und semantische Interoperabilität gerecht zu werden, orientiert sich das DMT-Message-Format an den bestehenden Spezifikationen, um einen Datenaustausch mit anderen Systemen zu erleichtern. Das DMT-Rulebase-Format definiert mit der Fakten- und Wissensbasis ein Modell für die Abbildung des aktuellen Zustandes eines Agenten. Dieses kann persistiert werden, um einen Zustand zu einem späteren Zeitpunkt wieder herzustellen oder um zum Informationsaustausch mit anderen Systemkomponenten zu dienen.

#### 9.4.1. XML und XML-Schema

Die *Extensible Markup Language (XML)* ist eine vom *World Wide Web Consortium (W3C)* spezifizierte Markup Language (Auszeichnungssprache) zur Darstellung hierarchisch strukturierter Daten in Textform [ABS00, BPSM<sup>+</sup>06]. XML geht zurück auf die *Standard Generalized Markup Language (SGML)*, einer Metasprache

zur Definition von Auszeichnungssprachen [GR90]. Das W3C sieht es als wesentliches Instrument einer offenen und für Mensch und Maschine verständlichen Informationslandschaft im Semantic Web. XML wird häufig für plattform- und implementierungsunabhängige Datenformate verwendet. Es handelt sich dabei um eine Metasprache, anhand derer sich anwendungsspezifische Sprachen durch inhaltliche und strukturelle Einschränkungen definieren lassen. Innerhalb einer Applikation ermöglicht XML eine einfache elektronische Verarbeitung von Daten [GTM99].

Zur Definition von Syntax und Struktur eines XML-Dokumentes wird heute fast ausschließlich *XML-Schema (XSD)* genutzt [FW04, TBMM04, BM04]. Gegenüber der in der XML-Spezifikation enthaltenen *Document Type Definition (DTD)* [BPSM<sup>+</sup>06] hat es mehrere Vorteile. XML-Schema ist selbst ein XML-Dokument, welches eine Vielzahl von vordefinierten Datentypen bereitstellt und komplexe Integritätsbeziehungen ermöglicht. Durch Konzepte der Vererbung und Substitution ist es auf Modularität und Wiederverwendbarkeit ausgelegt. Eine neue, aber abwärtskompatible Version eines Datenformates lässt sich so über die Erweiterung einer älteren Version definieren. Ein Programm, welches nur die ältere unterstützt, kann mit Einschränkungen die neue Version lesen. XML-Formate ermöglichen eine Portabilität auf unterschiedlichste Plattformen. Viele Programmiersprachen bieten eine Unterstützung, um auf Basis eines XSD Methoden zu erzeugen, die das Lesen und Schreiben des definierten Formates ermöglichen. Auch für das Editieren und Erzeugen von XML-Dokumenten existiert eine Vielzahl von Werkzeugen.

Strukturierte Dokumente, wie z. B. ein Vierfach-Fach-Vordruck zur Weitergabe von Meldungen im deutschen Zivilschutz, lassen sich sehr gut in Form eines XML-Formates umsetzen. In den letzten Jahren wurde XML in zahlreichen Initiativen im industriellen und öffentlichen Umfeld eingesetzt.<sup>8</sup> In den Bereichen der zivilen Sicherheit und dem Militär wurden ebenfalls verschiedenste XML-Formate spezifiziert, die im folgende Abschnitt erörtert werden.

#### 9.4.2. Nachrichtenformate im zivilen und militärischen Bereich

Im Bereich des Katastrophen- und Zivilschutzes existiert eine Vielzahl von Formaten für den Dateiaustausch. Einen Überblick bietet die *Homeland Security Standards Database* [U. 16]. Im Weiteren werden drei Standardfamilien vorgestellt, welche für das Forschungsgebiet der vorliegenden Arbeit relevant sind. Sie werden als Familien bezeichnet, weil sie jeweils mehrere Spezifikationen unter einem Titel subsumieren.

Im militärischen Bereich gibt es schon seit Längerem die Bestrebung, eine sogenannte *Battle Management Language (BML)* zu entwickeln. Mit dieser künstlichen Sprache sollen Befehle, Meldungen und Anforderungen so formuliert werden können, dass die resultierenden sprachlichen Ausdrücke eindeutig und unmissverständlich

---

<sup>8</sup>Beispiele im zivilen Umfeld sind cXML von Ariba ([www.cXML.org](http://www.cXML.org)) und ebXML ([www.ebXML.org](http://www.ebXML.org)) von der Global E-Business Initiative.

lich sind. Ihre Ausdrucksmöglichkeiten müssen ausreichend sein, um alle für den Anwendungsfall notwendigen Informationen zu transportieren. Die BML soll den Informationsaustausch von Führungsinformationssystemen untereinander sowie zwischen Führungsinformationssystemen und Simulationssystemen oder Robotereinheiten ermöglichen. Unter dem Oberbegriff BML wurden u. a. die *Joint Battle Management Language (JBML)* sowie die *Integrated Battle Management Language (IBML)* spezifiziert (siehe [BLT<sup>+</sup>14] bzw. [IBM10]). Die in dieser Arbeit berücksichtigte *Coalition Battle Management Language (C-BML)* enthält Elemente beider Spezifikationen [C-B11, BAD<sup>+</sup>09, BGH05, KOT<sup>+</sup>09]. Mit dem Ziel der Interoperabilität zwischen Systemen unterschiedlicher Länder und Organisationen wurde durch die *Simulation Interoperability Standards Organization (SISO)* das C-BML-Format entwickelt. Hintergrund war die verstärkte Zusammenarbeit von multinationalen Verbänden bis hinunter zur taktischen Ebene im Rahmen von NATO- und UN-Einsätzen. Ausgetauscht werden Pläne (Plans), Befehle (Orders), Anfragen (Requests) sowie Berichte (Reports) in Form jeweils eigener Nachrichtentypen. Die Orientierung am *Joint Consultation Command and Control Information Exchange Data Model (JC3IEDM)* stellt sicher, dass die notwendigen Daten ausreichend ausdrucksfähig sind, um den Inhalt des jeweiligen Nachrichtentyps abzudecken [MIP12]. Dazu erfolgt eine Orientierung an den fünf Ws zur Beschreibung einer Situation: *Wer (Who)*, *Was (What)*, *Wann (When)*, *Wo (Where)* und *Warum (Why)*. Die Spezifikation von C-BML kennt drei Reifegrade, bei denen der Erste lediglich das Datenmodell als XSD definiert, der Zweite eine formale Struktur sowie eine Grammatik vorgibt und der Dritte zusätzlich die formale Semantik in Form einer Ontologie bereitstellt. Die höchste Stufe ermöglicht die konzeptionelle Interoperabilität zwischen Systemen.

Die *Organization for the Advancement of Structured Information Standards (OASIS)* [OAS16] definiert mit der *Emergency Data Exchange Language (EDXL)* [EDX16] eine weitere Familie von Formaten, welche dem elektronischen Informationsaustausch im Katastrophen- und Zivilschutz dienen soll. Alle Formate sind im XML-Schema-Format definiert und haben eine gemeinsame Basisstruktur. Sie dienen jeweils unterschiedlichen Einsatzzwecken. Das *EDXL Distribution Element (EDXL-DE)* ist die gemeinsame Basis der Formate. Es definiert einen Umschlag für den Transport von einer oder mehrere in einem EDXL-Format codierten Nachrichten, welche in das Distribution Element Document eingebettet sind. EDXL-DE enthält die für eine elektronische Zustellung notwendigen Informationen bezüglich Sender und Empfänger sowie Beschreibungen zu den enthaltenen Daten, wie z. B. die Sprache oder Schlüsselwörter. Auch Informationen, die eine physische Zustellung ermöglichen, können angegeben werden. Das *EDXL Common Alerting Protocol (EDXL-CAP)* ist ein Nachrichtenformat der EDXL-Familie. Ursprünglich wurde es nur mit CAP bezeichnet. Es ermöglicht den Austausch von Notfallalarmierungen und öffentlichen Warnungen für alle Arten von Gefahren und über alle Formen von elektronischen Netzwerken hinweg. Es ist für den Austausch mit einem automatischen Frühwarnsystem genauso einsetzbar wie für die Bekanntmachung einer für die Öffentlichkeit bestimmten Warnung. Das für die Ressourcenverwaltung spezifizierte *EDXL-RM*

(*Resource Messaging*) dient dem Austausch von Befehlen an und Statusmeldungen von Einheiten im Feld. In der Arbeit nur am Rande betrachtet wurde das *Hospital Availability Exchange (EDXL-HAVE)*, welches Informationen über die verfügbaren Versorgungsmöglichkeiten in Krankenhäusern enthält. Außerdem plant die OASIS die Veröffentlichung des *Reference Information Model (EDXL-RIM)*, welches die eindeutige Nutzung von Begrifflichkeiten sicherstellen soll. Auch zwei weitere Nachrichtenformate sind in der Konzeption. *EDXL-SitRep* soll die Meldung der Lage durch Einsatzkräfte vor Ort enthalten und *EDXL-TEP (Tracking Emergency Patients)* der Verfolgung von Verletzten dienen sowie die Verwaltung der für ihre Versorgung relevanten Informationen übernehmen.

Eine weitere in XSD beschriebene Familie von Formaten im Bereich des Zivilschutzes ist unter dem Standard *IEEE Std 1512* [Ogd04, ?, IEE06] zusammengefasst. Sie umfasst fünf Spezifikationen für den Informationsaustausch zwischen Einsatzkräften und Leitstellen bei der Bewältigung von Verkehrsunfällen. *IEEE Std 1512* gibt eine allgemeine Einführung in den Standard und definiert ein Format zum Austausch von Meldungen in Einsatzleitstellen. *IEEE Std 1512.1* erweitert das Format um den Informationsaustausch zwischen Zivilschutzorganen und den Verkehrsleitstellen. Dies beinhaltet Fakten, welche die Situation beschreiben, die Klassifikation der Schwere des Ereignisses und die Beschreibung möglicher Maßnahmen. Dabei wird auch die Anbindung von automatisierten Erfassungssystemen für den Straßenverkehr mit einbezogen. Mit *IEEE Std 1512.2* wird zusätzlich der Informationsaustausch zwischen weiteren bei der Bewältigung von Verkehrsunfällen beteiligten Organisationen, wie Polizei, Feuerwehr und Rettungskräfte, unterstützt. Es werden bestehende Zivilschutzstandards sowie Befehlsstrukturen berücksichtigt. Auch *IEEE Std 1512.3* dient dem Informationsaustausch zwischen verschiedenen Organisationen, allerdings im Hinblick auf die speziellen Gegebenheiten bei Unfällen mit Gefahrgut. Eine Erweiterung zum Anfordern spezialisierter Hilfskräfte ist ebenso enthalten, wie eine Abfrageschnittstelle an externe Datenbanken bezüglich Gefahrgütern. Hauptziel dieses Formates ist es, dass an der Einsatzstelle kein Personal mit Spezialausbildung zum Absetzen und Verstehen von Meldungen notwendig ist. Die Spezifikation eines weiteren Formates für den Informationsaustausch zwischen Instanzen, die nicht Teil einer Leitstelle sind (*IEEE 1512.4*), wurde inzwischen eingestellt.

Keines der vorgestellten Formate kann die Anforderungen an ein Nachrichtenformat für das DMT vollständig erfüllen. Teile der Strukturen wurden allerdings in das DMT-Message-Format übernommen und neu kombiniert. Insbesondere die Schemata von C-BML und EDXL dienten als Vorlagen. So geht die Aufteilung der Meldungen in Orders, Requests und Reports auf BML zurück, wobei der Inhalt der Nachrichten teilweise abgewandelt und erweitert wurde. Auch das dort verwendete gemeinsame Basisformat für Meldungen findet sich im DMT-Message-Format wieder. Teile aus dem EDXL-RM-Format finden sich ebenfalls in der Grundstruktur. Dies gilt vor allem für die Schadensmeldungen, die stark an EDXL-CAP angelehnt sind. Außerdem wurde die Unterscheidung zwischen dem Sender und der Quelle einer gemeldeten Information übernommen. Das IEEE 1512 ging mit der Idee einer

strikten Definition des Inhalts von Feldern in Form von Aufzählungen der zulässigen Werte in das DMT-Message-Format ein.

### 9.4.3. Austauschformate des DMT

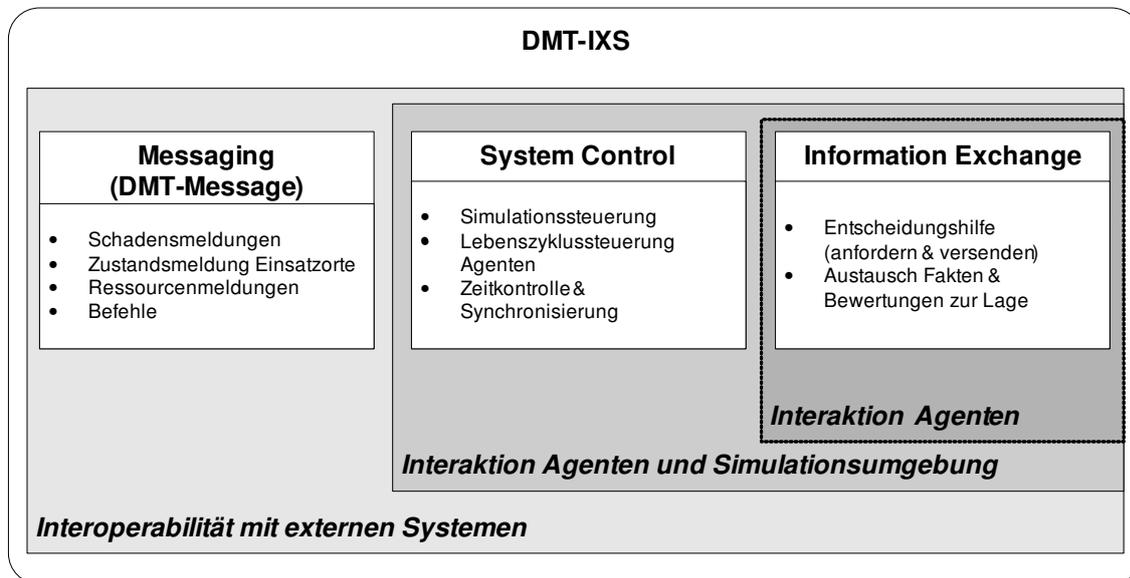


Abbildung 9.3.: Austauschformate für Informationen im DMT

*Information Exchange Specification (IXS)* ist der Oberbegriff für die im DMT verwendeten Datenformate. Alle wurden konzipiert im Hinblick auf einen reibungslosen Austausch von Informationen zwischen den Komponenten des DMT und die Integration von und in externen Systemen. Den Aufbau des IXS stellt Abbildung 9.3 dar. In der Abbildung dienen die übermittelten Daten als Strukturierungsmerkmal. Es ergeben sich zwei Hauptelemente: (1) Die Interaktion zwischen den Agenten des DMT. Dies beinhaltet die Nachrichtenformate zum Steuern der Agentenumgebungen (*System Control*) sowie Informationsaustausch zwischen den Agenten (*Information Exchange*). Zu Letzterem gehört u. a. die Übertragung von Hilfestellungen zwischen einem ADVISOR-Agenten und seiner Benutzungsoberfläche. Dies dient der Entkopplung der Entscheidungsunterstützung vom darstellenden Frontend. (2) Der Austausch von Meldungen und Befehlen zwischen Entscheidungsträgern und Einsatzkräften über das *DMT-Message-Format*. Meldungen können sowohl reale Personen als auch einen Simulator als Quelle haben. Ebenso sind menschliche Entscheidungsträger oder auch ADVISOR-Agenten Ursprung für Befehlsnachrichten. Entsprechend ist, im Gegensatz zum System-Control- und Information-Exchange-Format, DMT-Message mit dem Ziel modelliert, dass der Inhalt von Nachrichten nicht nur von einer Software, sondern vor allem auch von einem Menschen verstanden wird. Auch das Ziel der Interoperabilität mit externen Systemen wurde bei der

Modellierung berücksichtigt. Durch die Wahl von XML zur Codierung von Daten, lassen diese sich über fast jedes beliebige Protokoll übertragen, von Mail über JMS bis hin zu Webservices. Die Orientierung von DMT-Message an den im vorherigen Abschnitt beschriebenen Nachrichtenformaten vereinfacht die Integration in und von Systemen, die diese Formate einsetzen.

#### 9.4.3.1. Nachrichtenaustausch

Die im DMT-Message-Format Nachrichten transportieren Inhalte wurden bereits in Unterabschnitt 5.2.1 erläutert. ?? stellt das Datenmodell dar. In diesem werden verschiedene Nachrichtentypen unterschieden, die alle von dem gemeinsamen Basistyp DMT-Message abgeleitet sind. Innerhalb der hierarchischen Struktur bilden die Nachrichtentypen *Order*, *DamageReport*, *RessourceReport* und *Support* Unterklassen von DMT-Message. Mit absteigenden Hierarchiestufen der Typen kommen jeweils neue Elemente als Verfeinerung hinzu, die für die Inhalte des jeweiligen Nachrichtentyps zusätzlich erforderlich sind. Die definierte Struktur erleichtert die automatische Auswertung und Erstellung einer Nachricht, indem sie die Form sowie den Umfang der notwendigen Daten festlegt. Zusätzlich ermöglicht dies eine Vereinfachung bei der Validierung der Nachrichteninhalte auf Vollständigkeit. Die strenge Typisierung der Elemente erleichtert die Interpretation der enthaltenen Daten.

Der Basistyp des DMT-Message-Formates enthält die typischen Elemente eines Protokolls für den elektronischen Nachrichtenaustausch. Alle Nachrichten haben eine Id (*messageId*), anhand derer sie in jeder Systemkomponente eindeutig identifiziert werden können. Ist eine Nachricht die Antwort auf eine andere, wird dies mit dem Element *reference* abgebildet, welches die Id der ursprünglichen Nachricht enthält. Weiterhin sind der Sender, der Zeitpunkt des Versandes, der Betreff, die Empfänger sowie die Wichtigkeit durch Elemente festgelegt. Eine natürlichsprachliche Erläuterung des Nachrichteninhaltes kann als Option in *description* enthalten sein. Optional deshalb, weil in fast allen Nachrichtentypen die relevanten Informationen in explizit vorgesehen Elementen abgelegt sind, weshalb eine Textbeschreibung nicht notwendig ist. Ebenso optional können weitere Inhalte, wie z. B. Fotos, im Element *attachment* einer Nachricht hinzugefügt werden. Spezifischen Anforderungen aus dem Zivilschutz tragen *codeName* und *source* Rechnung. Mit *source* kann eine vom Sender abweichende Quelle für die in der Nachricht übermittelten Informationen bestimmt werden. Nimmt z. B. ein Disponent eine Schadensmeldung per Telefon auf, kann er mit diesem Element den Anrufer als Quelle der Meldung vermerken. Um Einsatzstellen schnell referenzieren zu können, erhalten sie vom System einen spezifischen Namen, der in dem Element *codeName* übermittelt wird.

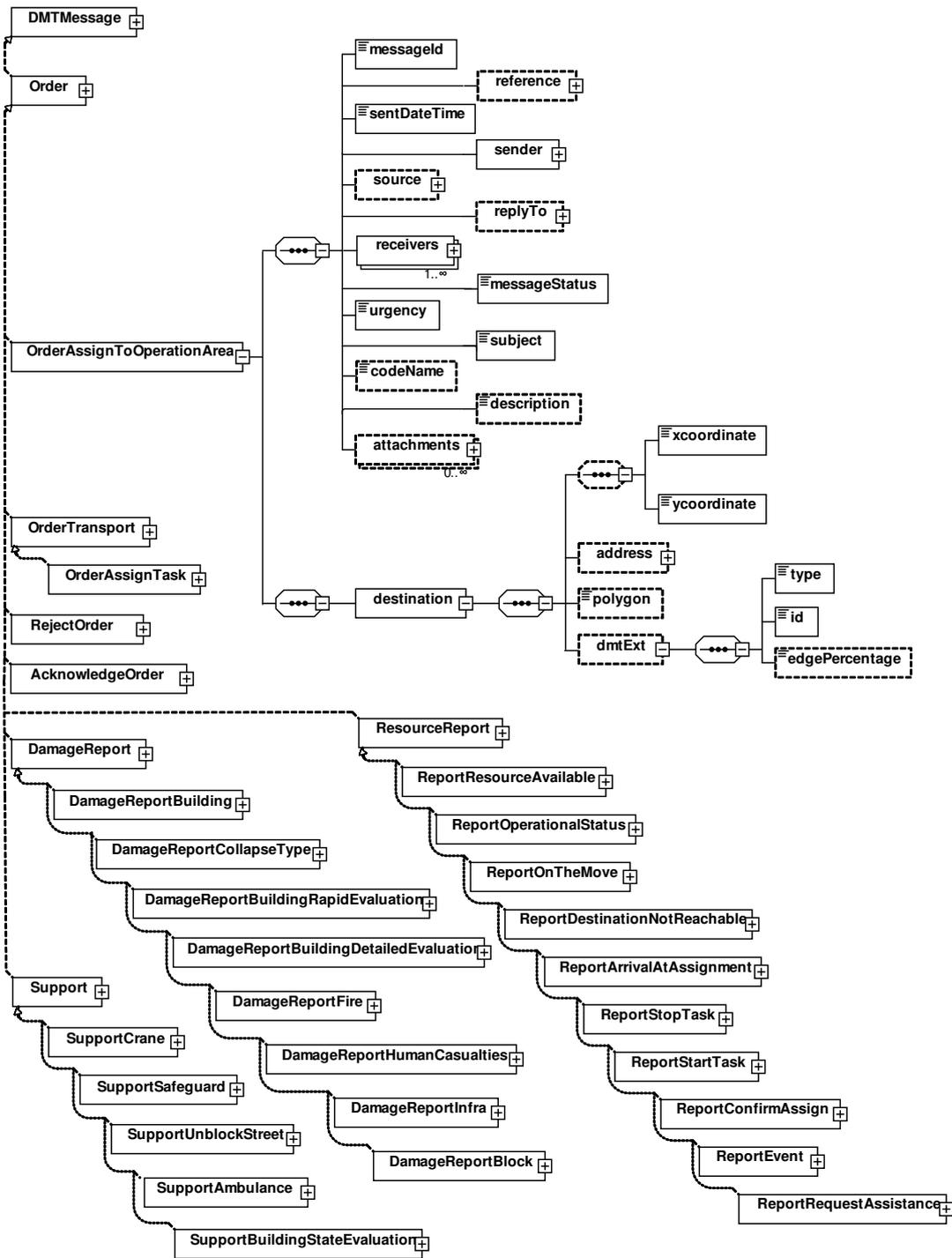


Abbildung 9.4.: DMT-IXS - Nachrichtenaustausch

Gestrichelt umrandete Elemente sind optional und solche mit einem Plus können aufgeklappt werden, um auf weitere Elemente zu verzweigen. Übereinander liegende Elemente zeigen an, dass sie mehrfach vorhanden sein können.

Viele Befehlsnachrichten, wie z. B. *OrderAssignToOperationArea*, referenzieren Stand-

orte im Einsatzgebiet als Ziel, zu welchem eine Ressource entsendet werden soll. Standorte können durch ihre Koordinaten oder eine Adresse mit Straßennamen und Hausnummer beschrieben werden. Optional kann ein Bezug auf Basis des internen Datenmodells des DMT erfolgen, der aus einer eindeutigen Objekt-Id (*id*) des Umweltobjektes (z. B. Straßenkante, Straßenknoten oder Gebäude) besteht. Diese Referenz ist allerdings nur für eine Kommunikation innerhalb des DMT gültig. Um die Interoperabilität von DMT-Message-Nachrichten sicherzustellen, müssen immer die Koordinaten oder eine Adresse enthalten sein. Innerhalb des Systems, z. B. bei der Kommunikation mit der Simulationsumgebung, stellt die Objekt-Id eine einfache und exakte Form der Zielbeschreibung dar. Analog zu *OrderAssignToOperationArea*, enthalten auch die anderen Nachrichtentypen weitere Elemente als Erweiterung, um in diesen die für den Typ notwendigen spezifischen Informationen als Werte zu übermitteln.

### 9.4.3.2. Informationsaustausch und Kontrollnachrichten

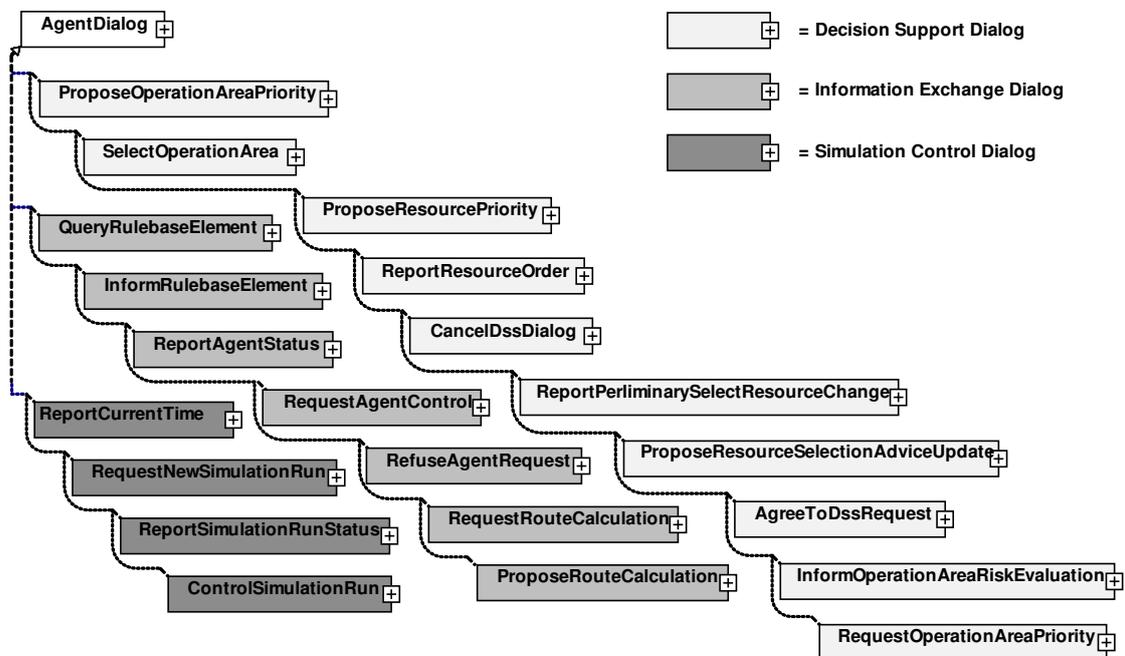


Abbildung 9.5.: DMT-IXS – Informationsaustausch und Kontrollnachrichten

Der FIPA-Standard definiert für den Informationsaustausch zwischen den Agenten die *Agent Communication Specifications (ACL)*. Auf ihr bauen verschiedene *Interaction Protocols (IPs)* auf, die u. a. den Ablauf einer Kommunikation für Handlungsanfragen, für den Informationsaustausch oder für Verhandlungen zwischen Agenten festlegen. Um eine einheitliche Interpretation der übermittelten Informationen in ihrem Kontext sicherzustellen, definiert die *Ontologie* einer ACL die Semantik

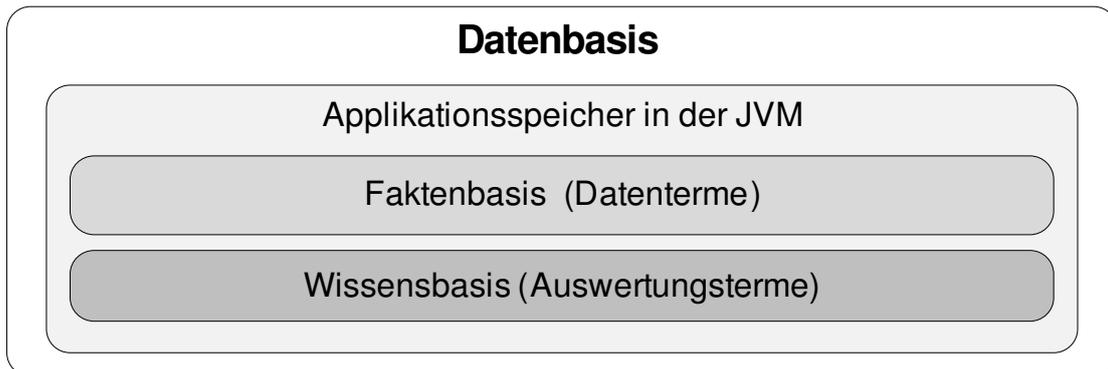
von Begriffen. Über die *Communicative Acts Library (CAL)* wird die Struktur und die Semantik für Dialoge zwischen Agenten definiert [FIP02a]. *Communicative Acts (CA)* wie *Agree*, *Cancel*, *Inform*, *Request* oder *Propose* geben Inhalt und mögliche Reaktionen vor. Zum Beispiel kann auf eine *Propose*-Nachricht von einem Agenten A, mit dem er einen anderen Agenten B darüber informiert, dass er unter einer gegebenen Voraussetzung bereit ist, eine Handlung auszuführen, Agent B nur mit einem *Reject Proposal* oder *Accept Proposal* antworten. Die Vorgaben von Bedeutung und Interpretation ermöglichen semantische Interoperabilität zwischen Agenten und erleichtern den Aufbau sowie die Wiederverwendung komplexer Dialogabläufe. Zusätzlich dazu hat die FIPA mit der *Semantic Language (SL)* [FIP02b] ein Format definiert, um Wissen zwischen Agenten auszutauschen. Dieser Austausch basiert auf den in den CAs definierten Dialogen. Für eine vollständig deklarative Darstellung der verfügbaren Informationen in der Fakten- und Wissensbasis der ADVISOR-Agenten erwies sich die SL als nicht praktikabel. Insbesondere der Austausch von Teilen einer oder gar einer vollständigen Faktenbasis ist in der SL nicht vorgesehen. Dies ist allerdings notwendig, um zwischen Entscheidungsträgern Informationen, wie eine Situationsbewertung, austauschen zu können. Auch die Übertragung der gesamten Faktenbasis eines ADVISOR-Agenten an die Simulationsumgebung, als Ausgangssituation von Simulationsläufen, oder das Zurückschicken der Ergebnisse ist in FIPA SL nicht möglich. Im DMT kommen daher zwar CAs zum Einsatz, der Inhalt der jeweiligen Dialogelemente wird allerdings im *AgentDialog*-Format codiert. Statt der SL wird die XML-Codierung der Fakten- und Wissensbasis genutzt (siehe Unterabschnitt 9.5.1).

Die Spezifikation der *AgentDialog*-Nachrichten (siehe Abbildung 9.5) unterscheidet drei Klassen: (1) Nachrichten, die den Dialog zur Entscheidungsunterstützung (*Decision Support Dialog*) abbilden, übermitteln die Daten für die Anfrage von Hilfestellungen an ADVISOR-Agenten und ihre Antworten. Die Typen dieser Klasse und ihre Elemente spiegeln die Schritte des in Kapitel 8 dargestellten Entscheidungsprozesses wider. (2) Der *Information Exchange Dialog* dient der Kontrolle von Agenten und dem Austausch von Informationen zwischen ihnen. Mit den Nachrichten von Typ *Query*- und *InformRulebaseElement* kann der Inhalt der Faktenbasis eines Agenten teilweise oder vollständig angefordert und versendet werden. Andere, wie *RequestAgentStatus* bzw. *RequestAgentControl*, können den Status eines Agenten abzufragen oder aktiv beeinflussen. Um Systeme mit geringer Rechenleistung zu entlasten, kann eine *RequestRouteCalculation*-Nachricht die aufwendige Routenberechnung an leistungsfähigere Systeme auslagern. (3) Nachrichten in der Klasse *Simulation Control Dialog* dienen der Kontrolle von Simulationsagenten sowie ihrer Synchronisation mit den Agenten des JADE MAS. *RequestNewSimulationRun* fordert eine neue Simulation zu einer vorgegebenen Lage an. Die Fakten zur Lage werden als XML-Codierung einer Faktenbasis in der Nachricht mitgeschickt. Für gestartete Simulationsläufe kann eine *ControlSimulationRun*-Nachricht den Ablauf der Simulationszeit steuern. Wird eine Simulation zu Schulungszwecken eingesetzt, erfolgt die Synchronisation der Simulationszeit mit der übrigen Umgebung über eine

*ReportCurrentTime*-Nachricht.

## 9.5. Datenablage und -verarbeitung

Sowohl die Entscheidungsunterstützungs- als auch die Simulationsagenten des DMT sind in der objektorientierten Programmiersprache Java implementiert. Diese wird in einen systemunabhängigen Bytecode übersetzt, den eine virtuelle Maschine, die



**Abbildung 9.6.:** Aufbau der Datenbasis des DMT

*Java Virtual Machine (JVM)* ausführt (vgl. [Ora16b]). Jede Systemkomponente des DMT besitzt eine eigene Instanz der *Datenbasis*, in der die für sie relevanten Informationen abgelegt sind. Abhängig von der Form der Ablage und den abgelegten Informationen gliedert sich die Datenbasis in drei Bereiche (siehe Abbildung 9.6):

- Der Speicherbereich, in dem in Java die *Applikationsdaten* abgelegt sind, wird im Weiteren als *Applikationsspeicher* bezeichnet. Zur Modellierung und Auswertung von Applikationsdaten kann der volle Java-Sprachumfang genutzt werden, was komplexe Datenstrukturen und Algorithmen zur Auswertung ermöglicht. Allerdings sind dazu Kenntnisse der Programmiersprache nötig. Als vereinfachende fachliche Modellierung dient den in Java implementierten Agenten die Fakten- und Wissensbasis. Sie ist in den Applikationsspeicher eingebettet.
- Die Elemente der *Faktenbasis* sind die *Datenterme*. Sie können von Regeln der Wissensbasis adressiert und durch sie verändert werden. Um eine unnötige Komplexität zu vermeiden, sind die zulässigen Datentypen und ihr Aufbau eingeschränkt (siehe Abschnitt 5.5). Bei den Agenten des DMT spiegeln die Datenterme die aktuell verfügbaren Informationen und Bewertungen bezüglich der Lage wider. Die Terme werden anhand eines eindeutigen textuellen Bezeichners unterschieden. Dessen Benennungsschema ist hierarchisch aufgebaut, wobei jede Hierarchieebene eine spezifische Bezeichnung hat.

- Die *Wissensbasis* codiert in Form von Regeln Expertenwissen, anhand dessen der Agent die verfügbaren Fakten analysiert und Schlüsse im Hinblick auf mögliche Handlungen zieht. Regeln werden auch als *Auswertungsterme* bezeichnet. Die Wissensbasis spiegelt die Kenntnisse und Erfahrungen von Experten wider. Die Ausdrucksmächtigkeit der Auswertungsterme ist beschränkt auf arithmetische Operationen sowie Fuzzy-Terme und -Regeln der Form: „WENN ... DANN ... SONST (IF THEN ELSE)“ (siehe Unterunterabschnitt 5.5.3.3). Ihre Darstellungsform ist nicht nur für Softwareentwickler verständlich. Dank einfacher Lesbarkeit und simplem Aufbau kann sie direkt von Experten gepflegt werden.

Ein Agent kann verschiedene Instanzen einer Faktenbasis verwalten. Es ist es möglich, in einer Fakten- und Wissensbasis den Zustand unterschiedlicher Szenarien, der Lage abzulegen. Gleichzeitig kann immer nur ein Szenario aktiv sein und bearbeitet werden. Ein Wechsel muss aktiv durch den Agenten mit dem Aufruf einer Java-Methode erfolgen. Eine Szenarioinstanz der Faktenbasis kann die Risikobewertungen unterschiedlicher Personen enthalten. Im Bezeichner jeder Bewertung  $E.Umw.^T P^T . OI D^T . A I D^T \# \$ B e t r o f f e n \$ ! \$ G e f a h r e n q u e l l e \$ I$  ist die Id des bewertenden Agenten enthalten. Da auch menschliche Systemnutzer eine Agenten-Id besitzen, ermöglicht dies eine Unterscheidung der Informationsquelle.

Um in der Fakten- und Wissensbasis auf alle verfügbaren Daten bei gleichzeitig geringem Aufwand bei der objektorientierten Implementierung der Applikationen zugreifen zu können, lassen sich Java-Objektattribute in die Faktenbasis eingebettet bzw. in sie übertragen werden. Dies erfolgt u. a. bei Werten, die den Zustand und die Eigenschaften von Ressourcen- oder Umweltobjekten repräsentieren. Einfache Datentypen, wie Zahlen, Wahrheitswerte, Texte oder Gleitkommawerte, lassen sich direkt in die Faktenbasis einbetten (siehe dazu Unterabschnitt 9.5.2). Für komplexere Datenstrukturen können Adapter implementiert werden, die die Daten in einfachere Datentypen der Faktenbasis einbettet. So wird damit z.B. eine Set von Texten als kommaseparierter Text abgelegt. Die Implementierung im Adapter stellt sicher, dass Veränderungen in der Faktenbasis automatisch in der Datenbasis wirksam werden und umgekehrt.

Das Datenmodell der Fakten- und Wissensbasis ist in Form eines XSD definiert (siehe Unterabschnitt 9.5.1). Es ist somit unabhängig von Programmiersprachen oder Betriebssystemen und kann als Textformat einfach zwischen Systemen ausgetauscht und persistiert werden. Für Java und andere Sprachen existieren Mechanismen, um aus einem XSD automatisiert Methoden zum Einlesen und Schreiben der vorgegeben Datenstruktur zu erzeugen.<sup>9</sup> Die Struktur des XML-Formates wird als Objektmodell in den erzeugten Java-Klassen abgebildet. Wie schon erwähnt ist die Datenbasis des DMT ist auf Portabilität ausgelegt. Der Zustand eines Agenten, unabhängig davon ob zur Simulation oder Entscheidungsunterstützung, ist in seiner Fakten- und Wissensbasis abgelegt. Indem er in einer XML-Datei serialisiert wird, lässt er sich später

---

<sup>9</sup>Im Rahmen der Arbeit kam JAXB[GO09] dafür zum Einsatz.

wieder herstellen oder kann zum Informationsaustausch an andere Agenten weitergegeben werden. Die XML-Datei lässt sich durch das standardisierte Format ohne Probleme mit in anderen Programmiersprachen entwickelten Systemen oder anderen Plattformen austauschen. Um eine Simulation auf Basis der ihm bekannten Fakten durchzuführen, reicht es, dass ein ADVISOR-Agent seine Faktenbasis in XML codiert, um diese als Ausgangsszenario an die Simulationsagenten zu übergeben. Zum Austausch mit anderen ADVISOR-Agenten kann ein Agent Teile seiner Faktenbasis serialisieren und verschicken. Diese werden in die Fakten- und Wissensbasis des empfangenden Agenten integriert.

### 9.5.1. Fakten- und Wissensbasis

Die technische Umsetzung des Modells der Fakten- und Wissensbasis (siehe Abschnitt 5.5) nutzt XML als Auszeichnungssprache sowie XML-Schema zu seiner Beschreibung. Vordefinierte Teile der Fakten- und Wissensbasis werden dynamisch beim Initialisieren eines Agenten aus zwei XML-Dateien geladen. Die Erste enthält generelle Regeln, die alle Agenten gemeinsam nutzen, die Zweite individuelle Regelsätze, die sich aus den vom jeweiligen Agenten verantworteten Ressourcen ergeben. Die enthaltenen Regeln wertet ein Interpreter zur Laufzeit aus. Dies ermöglicht den einfachen Wissensaustausch zwischen den Agenten und erleichtert Änderungen. Der Großteil der Regeln für die in Kapitel 6 und Kapitel 7 vorgestellten passiven und aktiven Hilfestellung lässt sich ohne Eingriff in den Programmcode der ADVISOR-Agenten oder Programmierkenntnisse bearbeiten. Die Hilfestellungen in einem produktiv genutzten System können somit kontinuierlich und mit geringem Aufwand angepasst oder erweitert werden.

Von einem Wurzelement mit dem Bezeichner *Rulebase* sind alle weiteren Elemente der Fakten- und Wissensbasis abgeleitet. Abbildung 9.7 stellt den Aufbau des Schemas dar, das aus fünf Listen sowie ergänzenden Elementen mit Metadaten besteht. Durch *meantFor* wird festgelegt, für welchen Agenten die vorliegende Instanz gültig ist bzw. von wem sie stammt. In *timeStamp* ist der Zeitpunkt der letzten Aktualisierung der Daten festgehalten. Die Elemente *situationFacts*, *attributeFacts*, *preferences* und *situationEvaluationFacts* entsprechen *Facts*, *Attributes*, *Preferences* und *Evaluations* des in Unterabschnitt 5.5.3 beschriebenen Namensraums der Fakten- und Wissensbasis. Sie bestehen jeweils aus einer Liste, die wiederum Listen von Termen (*terms*) enthält. Das Element *name* stellt den Bezeichner der jeweiligen Liste bzw. des einzelnen Terms dar, wobei das Benennungsschema den in Gleichung 5.13 dargestellten Aufbau hat. Bei jedem Element dient *source* der Ablage der Quelle, aus der die entsprechende Information stammt. Ist dies eine im DMT bekannte Ressource, kann deren systemweit eindeutiger Bezeichner (*id*) genutzt werden. Alternativ sind unter *identification* andere Identifikationskriterien abgelegt. Die Terme (*TermElement*) sind die Datenelemente der Fakten- und Wissensbasis. Die jeweiligen

Instanzen eines *TermElement* haben einen Datentyp.<sup>10</sup> Einfache Typen sind boolesche Werte, Zeichenketten, Ganzzahlen oder Gleitkommawerte. Komplexere sind Listen von Termen, Verknüpfungen zu einem anderen Element in der Faktenbasis sowie Auswertungsterme. Letztere ermöglichen die Kombination der Inhalte von Termen, anhand der in Unterunterabschnitt 5.5.3.3 beschriebenen Operationen und Berechnungsregeln.

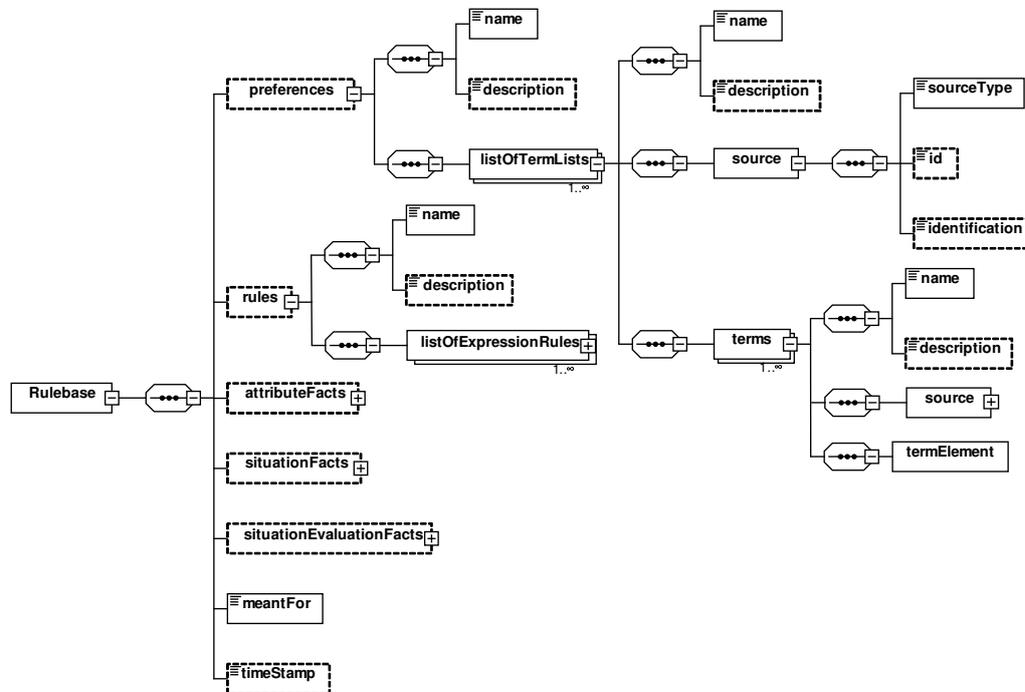


Abbildung 9.7.: Fakten- und Wissensbasis – Aufbau

Wie in Unterabschnitt 4.3.5 und Unterabschnitt 5.4.3 erläutert unterstützen die ADVISOR-Agenten Fuzzy-Logik (siehe Abschnitt A.1) Operationen, um unscharfe Informationen zu verarbeiten. Entsprechende Regeln sind in den *FuzzyTerm*-Elementen abgelegt. Sie nutzen ein Format gemäß Standard „IEC 61131-7:2000 Programmable Controllers - Part 7: Fuzzy-control-programming“ [INT00]. Dieser definiert die *Fuzzy Control Language (FCL)*, ein textuelle Beschreibung für Fuzzy-Funktionen. In einem Funktionsblock wird bestimmt, wie auf gegebene Eingangsvariablen Fuzzy-Inferenz-Regeln anzuwenden sind, um den Wert einer Ergebnisvariablen zu bestimmen. Die Eingangsvariablen der Funktion können kontinuierliche oder diskrete Werte aufweisen. Sie werden für die Auswertung in Fuzzy-Variablen umgewandelt, deren Definition ebenfalls in den Funktionsblöcken erfolgt. Als Ausgabe der Funktion wird die Ergebnisvariable durch eine Defuzzifikation in einen kontinuierlichen Wert umgewandelt, der sich mit einer Java Methoden oder Regeln

<sup>10</sup>Abbildung A.6 stellt die Struktur der *TermElement* Typen grafisch dar.

aus der Wissensbasis weiterverarbeiten lässt. Jeder Funktionsblock stellt eine eigenständige Berechnungsanweisung dar, die keinen direkten Zugriff auf Terme aus der Faktenbasis hat. Die Zuordnung einzelner Werte aus der Faktenbasis zu Variablen im Fuzzy-Funktionsblock ist in den *FuzzyTerm*-Elementen beschrieben. Dort ist auch definiert, wie die Ergebnisvariable eines Funktionsblocks in die Faktenbasis zurückzuschreiben ist. Die Auswertung der FCL-Funktionsblöcke erfolgt über die Java-Bibliothek *JFuzzyLogic* [CAF12].

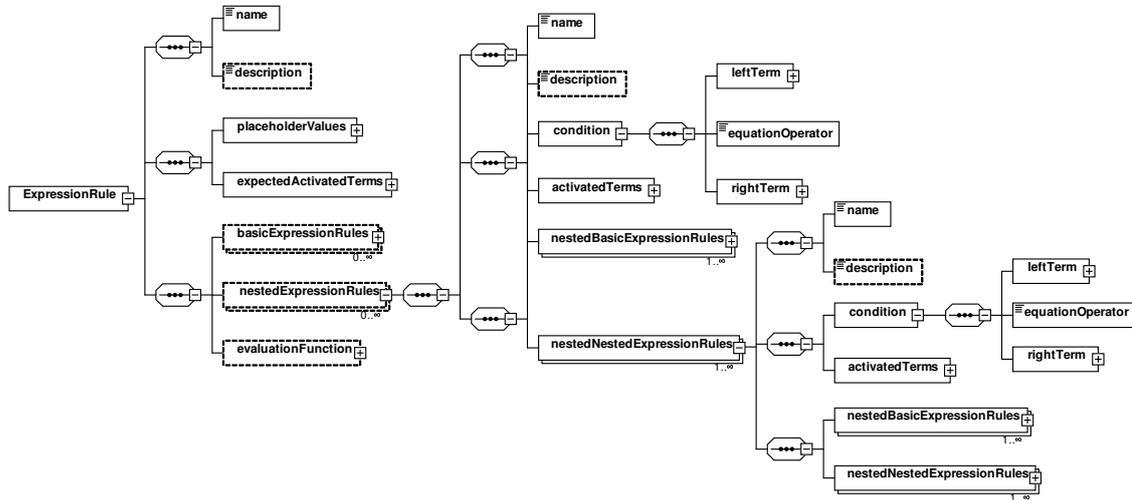


Abbildung 9.8.: Fakten- und Wissensbasis – Regelaufbau

Die Produktionsregeln einer Fakten- und Wissensbasis sind unter dem Element *rules* abgelegt. Dieses enthält eine Liste aus Elementen vom Typ *ExpressionRule*. Ihre Auswertung erfolgt wie in Unterunterabschnitt 5.5.3.3 bzw. Algorithmus 5.1 beschrieben. Jede Regel weist einen eindeutigen Bezeichner *name* auf, dessen Benennungsschema dem aus Gleichung 5.13 entspricht. Die zur Auswertung der Regeln benötigten Daten müssen in der Faktenbasis abgelegt sein oder als Attribute in ihren Auswertungskontext übergeben werden. Die im Auswertungskontext zu übergebenden Attribute legt die Liste *placeholderValues* fest. Die Bezeichner der Terme die das Ergebnis einer Auswertung enthalten, sind in der Liste *expectedActivatedTerms* enthalten. Für diese Terme können Vorgabewerte (default values) definiert sein, die gelten, solange sie nicht bei der Regelauswertung überschrieben werden. Die eigentlichen Regeln finden sich in den Listen *basicExpressionRules* und *nestedExpressionRules*. Wie in Abbildung 9.8 dargestellt, kann eine verschachtelte *nestedExpressionRule* weitere einfache oder verschachtelte Regeln enthalten, wodurch eine beliebige Tiefe der Verkettung von Regeln erreicht werden kann. Zentraler Bestandteil jeder Regel ist ihre Bedingung (*condition*), die aus einem linken und einem rechten Term sowie einem Vergleichsoperator für die beiden Terme besteht (siehe auch Unterunterabschnitt 5.5.3.3). Ein positiver Vergleich resultiert bei einer *basicExpressionRule* in der Aktivierung der in der Liste *activatedTerms* enthaltenen

Terme. Aktiviert bedeutet, dass die Werte der Terme in den Auswertungskontext der Regel übernommen werden, was ggf. in *expectedActivatedTerms* vorgegebene Werte überschreibt. Bei einer *nestedExpressionRule* werden zusätzlich die verschachtelten Regelterme aktiviert und ausgewertet.

Das MIS stellt die Ergebnisse der Regelauswertung als Hinweise dar. Die Darstellung ist abhängig von dem aktuellen Schritt im Entscheidungsprozess bzw. der dort relevanten Fragestellung (siehe auch Kapitel 8). Im Gegensatz zu typischen Entscheidungsunterstützungssystemen existiert keine explizite Erklärungskomponente. Stattdessen werden in den Konklusionen der Regeln Texte aus den *Preferences*-Termen der Faktenbasis referenziert, welche Hilfestellungen und Erklärungen liefern. Die Benutzungsoberfläche blendet diese in Textfeldern ein.

Durch die starke Strukturierung und Typisierung der Regeln ist das Editieren der XML-Datei der Fakten- und Wissensbasis in einem normalen Texteditor unkomfortabel. Editoren, die XML unterstützen, erleichtern Änderungen an der Fakten- und Wissensbasis. Als weiteren Vereinfachung wurde ein explizit an den Aufbau der Fakten- und Wissensbasis angepasster Editor entwickelt, der ihre Elemente in einer Baumstruktur zugänglich macht.

### 9.5.2. Integration in Java

Zur Integration von XML in Java-Applikationen existiert mit der JAXB (Java Architecture for XML Binding) [GO09] eine elegante Möglichkeit, Java-Datenobjekte aus XML zu instanzieren und umgekehrt in XML zu persistieren. Dies wird im DMT umfassend genutzt. Bei der Übersetzung

des Java-Datenmodells in das in XSD definierte XML-Format, kommt u. a. das Java-Sprachfeature *Annotation* zum Einsatz (siehe [BO04]). Zur Integration der Fakten- und Wissensbasis in das Java-Datenmodell wurde ein ähnlicher Weg gewählt, der ebenfalls auf Annotationen basiert.

#### Listing 9.1: Annotationen zur Einbettung von Attributen

```
@MapRulebaseFactsToClassAttributes(objectType =
  RulebaseAttributeAndSituationFactsObjectNamespace.AMBULANCE)
public class Ambulance
...
    /**
     * capacity of the ambulance car [persons]
     * @RulebaseStatic
     */
    @TermElementMapping("CAPACITY")
    protected LongintTermType capacity;
...

```

Wie das beispielhafte Codefragment Listing 9.1 darstellt, definieren Annotationen oberhalb der Deklarationen von Attributen bzw. Klassen, wie eine Repräsentation in Termen der *Rulebase* aussieht und welchen Bezeichner die Elemente dort haben. Die entsprechenden Klassenattribute werden so in die Regelbasis eingebettet, dass eine Änderung des Wertes in der Regelbasis eine Änderung des Werte im Java-Objektes zur Folge hat und umgekehrt. Analog zu Attributen können auch Java-Methoden mithilfe einer entsprechenden Annotation als *CombinedTerm* eingebettet werden. Die Annotation definiert dabei auch die Umsetzung von Funktionsparametern in Elemente der Fakten- und Regelbasis. Java-Methoden sind dadurch aus Regeln der Fakten- und Wissensbasis wie interne Terme referenzierbar.

# 10. Evaluation und Datensammlung

Ein detailliertes Verständnis der Rahmenbedingungen bei der Entscheidungsfindung in einer Problemdomäne ist die Voraussetzung für die Entwicklung eines Systems, welches diese unterstützen soll. Neben Erkenntnissen aus Recherchen in der Literatur, wie in Kapitel 2, Kapitel 3 und Kapitel 4 beschrieben, berücksichtigt die Arbeit auch potenzielle Nutzer der Anwendung aus dem Zivilschutz.

Im Rahmen der Forschung zu dieser Arbeit waren Experten unterschiedlicher Zivilschutzorganisationen involviert: (1) Mitarbeiter des *Romanian General Inspectorate for Emergency Situations (GIES)* und des *Bukarest Inspectorate for Emergency Situations (BIES)*, (2) Ausbilder und Schulungsgäste der *Akademie für Krisenmanagement, Notfallplanung und Zivilschutz (AKNZ)*, (3) Personal der *Feuerwehrleitstelle des Stadt- und Landkreises Karlsruhe*. Um die Ergebnisse der Forschungsarbeiten zu präsentieren und miteinander zu verbinden, wurde das Disaster Management Tool (DMT) entwickelt (für Details siehe Abschnitt 9.2). Die Wissensbasis seines Expertensystems (ADVISOR-Agenten) wurde u. a. durch Expertenbefragungen von Mitarbeitern der genannten Organisationen erstellt. Außerdem wurden seine Oberfläche (MIS), die Simulationskomponente (*DMT-SIM*) und die Hilfestellungen der ADVISOR-Agenten Personen aus diesen Organisationen vorgeführt bzw. von ihnen getestet. Die dabei erhaltenen Rückmeldungen flossen als Verbesserungen in das DMT ein.

Die genannten Kontakte konnten in drei Forschungsprojekten geknüpft werden: dem von der DFG geförderten Sonderforschungsbereich „SFB 461 Starkbeben: Von geowissenschaftlichen Grundlagen zu Ingenieurmaßnahmen“, dem DFG-Projekt „Modellbasiertes Ressourcenmanagement für Hochwasserereignisse und Interoperabilität der beteiligten Komponenten“ sowie dem BMBF-Projekt „Security2People - Secure IT-based Disaster Management System to Protect“ and Rescue People.

## 10.1. Zivilschutz in Rumänien

Ausgangspunkt für die Entwicklung des DMT waren die Arbeiten im SFB 461, der sich mit den Ursachen und der Bewältigung von Starkbeben in der Vrancea-Region um Bukarest beschäftigte. Die Forschungsarbeit erfolgte im Rahmen mehrerer Teilprojekte in Kooperation mit der *Technical University of Civil Engineering Bucharest*, dem *Romanian General Inspectorate for Emergency Situations (GIES)* sowie dem *Bukarest Inspectorate for Emergency Situations (BIES)*. Ziel eines der Teilprojekte

war die Entwicklung von Softwarelösungen, welche die Bewältigung von Schäden nach und die Vorbereitung auf ein Starkbeben verbessern. Im Rahmen des Projektes wurden detaillierte geografische und demografische Daten für ein Testgebiet innerhalb von Bukarest gesammelt sowie eine Aufstellung mit technischen Daten von den für die Bewältigung verfügbaren Ressourcen erstellt. Diese Daten stellen die Grundlage für die Szenarien dar, auf denen die Tests und Demonstrationen des DMT basieren.

Um die Anforderungen an ein Entscheidungsunterstützungssystem für Katastrophen zu sammeln, wurden die Erkenntnisse aus Literaturrecherchen (siehe Kapitel 2 und Kapitel 3) in Gesprächen und Interviews mit Experten des rumänischen Zivilschutzes vertieft und erweitert. Außerdem wurde Wissen über die Abwägung und Priorisierung von Fakten sowie der darauf basierenden Entscheidungsfindung gesammelt. Schwerpunkt der Untersuchung war das Vorgehen von Entscheidungsträgern bei der Bewältigung der Auswirkungen von Erbeben mit umfangreichem Schadenspotenzial. Um Unterstützung bei der Entscheidungsfindung bereitstellen zu können, ist ein tieferes Verständnis des menschlichen Entscheidungsprozesses in dieser Situation notwendig. Dabei sind auch die Wahrnehmung und die Darstellung der für die Entscheidung relevanten Informationen zu beachten. Im Fall einer Einsatzleitung im Katastrophenstab ist dies die Lage im Einsatzgebiet.

Eine erste Version einer Wissensbasis der ADVISOR-Agenten wurde aufgrund der Erkenntnisse aus der Literatur erstellt. Anhand des Expertenwissens wurden vor allem die Regeln zur Brandbekämpfung verfeinert. Die ermittelten Anforderungen an die Benutzungsoberfläche flossen in eine erste Version des MIS ein. Die Systemkomponenten wurden in mehreren Iterationen verbessert, indem fertiggestellte Teile potenziellen Nutzer aus dem Zivilschutz vorgestellt und deren Rückmeldungen eingearbeitet wurden. Zum Abschluss des Sonderforschungsbereiches erfolgte im Rahmen einer Katastrophenschutzübung ein Test von MIS, DMT-SIM sowie den ADVISOR-Agenten durch eine Einsatzleitung des BIES. Die dort gesammelten Erkenntnisse flossen als Verbesserungen in eine weitere Iteration der Komponenten ein.

## 10.2. Zivilschutz in Deutschland

Folgeprojekte des SFB wurden in Zusammenarbeit mit Personen aus dem deutschen Zivilschutz durchgeführt. Bei mehreren Besuchen der AKNZ konnten die gewonnenen Erkenntnisse mit Schulungsleitern besprochen und das System vorgeführt werden. Zusätzlich gab es Gelegenheit zu Interviews mit Schulungsteilnehmern. Außerdem konnten Zivilschutzorgane aus der Region Karlsruhe als Informationsquellen gewonnen werden, wie die Feuerwehrleitstelle des Stadt- und Landkreises Karlsruhe sowie die Landesfeuerwehrschule Baden-Württemberg.

### 10.2.1. AKNZ

Bei Besuchen der AKNZ konnte der Autor an mehreren Übungssitzungen teilzunehmen und diese beobachten. Schwerpunkte des Interesses waren der Entscheidungsprozess sowie die Arbeitsteilung bei dem geschulten Personal einer Einsatzleitung. Bei dem Vorgehen der Entscheider bestätigte sich der in Kapitel 3 dargestellte Entscheidungsprozess, wobei der analytische Pfad häufiger zum Tragen kam. Dies ist in einer Schulungssituation allerdings nicht überraschend und lässt keinen direkten Schluss auf das Vorgehen in einer echten Krisensituation zu. Eine Verfeinerung und Erweiterung der Wissensbasis erfolgte durch die Analyse von gewünschten bzw. idealen Lösungswegen für Problemsituationen. Dazu wurden typische Übungssituationen mit den Schulungsleitern diskutiert. Insbesondere ließen sich daraus neue und ergänzende Kenntnisse bezüglich des Umgangs mit Gefahrstoffen ermitteln.

Als Demonstrator diente das DMT mit dem MIS, der DMT-SIM und den ADVISOR-Agenten als Komponenten. Diese wurden zunächst dem Schulungspersonal vorgeführt und danach auch direkt von diesem getestet. Vor allem die Trainingsunterstützung stieß auf Interesse. Die Entscheidungsunterstützung der ADVISOR-Agenten und deren Vorgehen bei der Ermittlung der Hilfestellungen wurde vor allem für Feuerwehreinheiten getestet. Aus der anschließenden Bewertung des DMT ergaben sich Verbesserungsvorschläge bei der Suchfunktion der MIS Oberfläche sowie Anregungen für die Bewertung von Unsicherheiten bei eingehenden Informationen.

### 10.2.2. Feuerwehr Karlsruhe

Sowohl bei der Zusammenarbeit mit dem rumänischen Zivilschutz als auch bei den Besuchen der AKNZ konnten keine Informationen in einer realen Einsatzsituation gesammelt werden. Als dritte Quelle dienten daher Besuche in der Leitstelle der Feuerwehr Karlsruhe sowie Interviews mit deren Mitarbeitern. Auch wenn die alltägliche Arbeit dort nicht vergleichbar ist mit der Lage während einer Katastrophe, so konnten dort zwei neue Bereiche untersucht werden: zum einen Form sowie Inhalt realer Meldungen von Einsatzkräften und insbesondere auch von Zivilisten, zum anderen die Anforderungen an ein System, das im alltäglichen Betrieb einer Leitstelle eingesetzt wird.

Auf dieser Grundlage wurden die Verarbeitung von Meldungen und die Beurteilung der Glaubwürdigkeit der enthaltenen Informationen um den Einsatz von Fuzzy-Regeln ergänzt (siehe Unterunterabschnitt 5.4.3.6). Die Modellierung der linguistischen Variablen konnte in Interviews mit Disponenten verbessert werden, die ihre Beurteilung zur Bedeutung der gewählten linguistischen Variablen gaben. Bei der Untersuchung der Anforderungen an ein System für den alltäglichen Einsatz ergaben sich weitere Anregungen für Verbesserungen. Besonders die Idee vordefinierter Bündel aus Einsatzkräften, welche auf die Anforderungen in bestimmten Einsatzsituationen zugeschnitten sind, fand Eingang in das System. Da im normalen Einsatz

ausreichend Ressourcen verfügbar sind, wird mit groben Einteilungen gearbeitet, bei denen eher zu viele als zu wenige Einheiten ausrücken. Dies lässt sich nicht auf den Katastrophenfall übertragen. In den ADVISOR-Agenten wurde die Idee u. a. bei der Auswahl der Ressourcen für Behandlungsplätze aufgegriffen. Statt allerdings feste Gruppierungen von Ressourcen im Voraus zu festzulegen, erfolgt die Bestimmung aufgrund der situativ benötigten Fähigkeiten während des Einsatzes.

### 10.3. Beurteilung

Die Befragungen von Experten aus den verschiedenen Organisationen zur Beurteilung des DMT ergaben überwiegend positiv Rückmeldungen. Sie bestätigten als vordringliches Problem bei einer Katastrophe die Bewältigung der komplexen Situation, für die kaum Erfahrungswerte vorliegen und nur unvollständige sowie unsichere Informationen verfügbar sind. Eine automatisierte Verteilung und Aufbereitung der Informationen und die Unterstützung bei der Risikobewertung der Gefahrenbereiche wurden durchgehend als hilfreich bewertet. Die Risikomatrix als Darstellungsform beurteilten Anwender, sowohl aus Deutschland als auch aus Rumänien, als einen sinnvollen und leicht verständlichen Ansatz. Beim praktischen Einsatz des Systems, sowohl durch Mitarbeiter des rumänischen Zivilschutzes sowie auch Personen aus der AKNZ, konnten diese die Risikomatrix ohne größere Erläuterungen verstehen und anwenden.

Hilfsmittel für das Training, wie Simulatoren und MSEL, wurden ebenfalls positiv gesehen. Gegenüber einer Übung auf Papier, bei der die Übungsleiter die Rolle der Simulation des Szenarioverlaufs übernehmen, fällt ein deutlich geringerer Aufwand bei der Durchführung an. Als weitere Vorteile nannte das Schulungspersonal an der AKNZ eine flexiblere Szenariogestaltung und die leichte Auswertbarkeit des Übungsverlaufs. Bei den passiven Hilfestellungen erhielten vor allem die automatische Auswertung des Inhalts von Meldungen und die Unterstützung bei der Beurteilung der Fakten eine positive Rückmeldung.

Die Expertengespräche dienten insbesondere der iterativen Weiterentwicklung der aktiven Hilfestellungen. Aufgrund der Auswertung jeder neuen Befragung erfolgten Verbesserungen und Erweiterungen. Die textuellen Kommentare und Beurteilungen bewerteten in der ersten Version des Systems viele der Befragten als sinnvolle Hilfestellung. Kritischer wurden dagegen die Handlungsempfehlungen gesehen. Die Berücksichtigung bzw. Modellierung der Unsicherheit einer Aussage im Entscheidungsprozess war ein oft genanntes Problem. Diesem wurde mit den Fuzzy-Logik-Regeln begegnet. Ein weiterer sensibler Punkt war die Übergabe bzw. Übernahme der Entscheidungsverantwortung an oder durch eine Software. Erkenntnisse aus Gesprächen zu diesem Thema sind in den offen gestalteten Unterstützungsprozess eingeflossen, der dem Anwender eine möglichst freie Auswahl darüber gewährt, wie weit er die Hilfestellungen in Anspruch nehmen möchte. Vermutlich aufgrund dieser Anpassungen

gab es in späteren Demonstrationen und Gesprächen seltener Kritik am grundsätzlichen Konzept und der Ausgestaltung der aktiven Hilfestellungen. Einen Einsatz in einer realen Katastrophensituation schlossen die Befragten in der vorliegenden Form des DMT trotzdem zumeist aus. Neben der Reife des Systems wurde vor allem infrage gestellt, dass die Wissensbasis umfangreich genug ist, um alle Aspekte bei der Unterstützung der betrachteten Ressourcenklassen zu berücksichtigen. Eine so nah an der Einsatzfähigkeit liegende Implementierung war allerdings auch nie das Ziel der zugrunde liegenden Forschungsarbeit.



# 11. Zusammenfassung und Ausblick

Das in dieser Arbeit vorgestellte Disaster Management Tool (DMT) ist die Machbarkeitsstudie eines flexiblen und modular erweiterbaren Entscheidungsunterstützungssystem für den Zivilschutz. Sein Ziel ist, Mitarbeitern in einer Leitstelle bei der Bewältigung von Erdbebenkatastrophen Hilfestellungen für einen möglichst effektiven und effizienten Ressourceneinsatz zu liefern.

Den in Abschnitt 1.3 genannten Anforderungen folgend wurde, anhand von von Literaturrecherchen und Befragungen, eine Domänenbeschreibung für den Zivilschutz entwickelt. Ein Modell des menschlichen Entscheidungsprozesses während der Katastrophenbewältigung ergänzt dieses. Beides dient als Grundlage für die Identifikation effektiver und effizienter Entscheidungshilfen. Das Prozessmodell bildete dabei den Ausgangspunkt für die Darstellung der Entscheidungsunterstützung und seiner kollaborativen Orchestrierung innerhalb der Dialogführung auf der Benutzungsoberfläche des DMT. Die Hilfestellungen selbst basieren auf Regeln, die Expertenwissen abbilden und in einer Wissensbasis abgelegt sind. Deren textuelle Beschreibungssprache erlaubt eine Erweiterung durch Experten, ohne dass diese Kenntnisse in der Softwareentwicklung haben müssen.

Aufbauend auf einem elektronisch auswertbaren Datenformat für den Nachrichtenaustausch erfolgt im DMT eine weitgehend automatisierte Datenverarbeitung und Informationsaufbereitung. Da als Quelle hauptsächlich menschliche Beobachtungen dienen, weisen die daraus resultierenden Daten oft eine Unschärfe auf. Die Ihre Beurteilung erfolgt anhand von Fuzzy Logik. Weitere Regeln treffen Ableitungen anhand der verfügbaren Fakten. Bei unzureichenden Informationen können als Ergänzung Prognosen aus der Simulationsumgebung herangezogen werden. Das DMT ist als Multiagentensystem (MAS) konzipiert, bei dem die Entscheidungsunterstützung in sogenannte ADVISOR-Agenten realisiert ist. Die bei der Auswertung ermittelten Fakten stellen eine interne Lagebeurteilung des Agenten dar. Diese wird zusammen mit dem menschlichen Nutzer zu einem gemeinsamen Lagebild ergänzt, wobei der Agent passive Hilfestellungen in Form einer Zusammenfassung von Fakten und Unterstützung bei ihrer Beurteilung bereitstellt. Basierend auf dem gemeinsamen Lagebild stellen Agenten weitere aktive Entscheidungsunterstützungen bereit. Deren Ziel ist die effiziente Zuordnung verfügbarer Ressourcen auf die Gefahrenbereiche im Einsatzgebiet. Dabei führt die Oberfläche, gemäß dem Modell des Entscheidungsprozesses, den Anwender von der Wahrnehmung über die Entscheidungsfindung zur abschließenden Handlung.

Die Systemlandschaft für Unterstützungssoftware im Zivilschutz ist national wie international sehr heterogen. Die Architektur des DMT soll daher auch die Machbarkeit eines interoperablen Systems in diesem Bereich aufzeigen. Um das System dabei flexibel und modular zu gestalten, wurde ein Multiagentensystem als Plattform gewählt, welches die Standardspezifikationen HLA und FIPA AMS umsetzt. Für den Datenaustausch kommt ein XML-Format zum Einsatz, dessen Schema-Definition in XSD erfolgt. Es orientiert sich an den Spezifikationen anderer Austauschformate aus Militär und Zivilschutz. Die Implementierung des DMT demonstriert exemplarisch die Möglichkeiten einer Anbindung verschiedener Schnittstellenprotokolle durch die Integration von z. B. JMS oder SOAP. Die Anbindung der bestehenden MAS-Simulationsumgebung für Erdbebenkatastrophen [Fie04] sowie die Einbindung weiterer Schnittstellen für Feldkräfte zeigen die Flexibilität der Architektur bezüglich der Integration externer Systeme. Zusätzlich ermöglicht das modulare Konzept des Agentensystems eine Konfigurierbarkeit für den Einsatz in verschiedenen Phasen des Katastrophenmanagementzyklus (siehe Abbildung 2.3). Der Mehrwert einer solchen Anpassbarkeit ist die Möglichkeit eines Einsatzes des Systems bei der alltäglichen Arbeit, woraus eine Vertrautheit und höhere Akzeptanz im Katastropheneinsatz resultieren würde. Die Anpassungen an die Anforderungen der Nutzer, durch ein Entfernen, den Austausch oder das Hinzufügen von Komponenten, die durch das Konzept der schwachen Kopplung der Systemkomponenten ermöglicht wird, ist eine zentrale Eigenschaft der JADE-MAS-Plattform. Das Management Information System (MIS) integriert die Informationen und Hilfestellungen der Agenten des DMT auf seiner Nutzungsoberfläche für den Anwender in der Einsatzleitung.

## Offene Punkte

Das DMT als Referenzimplementierung eines Entscheidungsunterstützungssystems für Erdbebenkatastrophen stellt nur einen Ausschnitt der Möglichkeiten dar, die ein computerbasiertes System Entscheidungsträgern in einer Einsatzleitung bieten kann. Zwar decken die bereitgestellten Hilfestellungen mit Gebäudeeinstürzen, Feuern, Krankentransporten und der Erkundung wichtige Aspekte einer Erdbebenkatastrophe ab. Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Bewertungen des Systems durch Experten aus dem Zivilschutz belegen aber lediglich ihre Plausibilität. Das verwendete Regelwerk ist für den produktiven Einsatz in einer realen Schadenslage nicht umfangreich genug. Sowohl die Entscheidungsunterstützung als auch die Fuzzy-Logic-Regeln, müssten dazu umfangreich geprüft und weiterentwickelt werden. Die dafür nötigen Versuche waren im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht vorgesehen.

Der Funktionsumfang der Hilfen berücksichtigt nicht alle denkbaren Gefahrenquellen, wie z. B. den Umgang mit und die Ausbreitung von Schadstoffen oder Schäden an Infrastruktur wie Straßen und Brücken. Die Forschungsarbeit im Projekt „Modellbasiertes Ressourcenmanagement für Hochwasserereignisse und Interoperabilität der

beteiligten Komponenten“ konnte aufzeigen, dass sich das bestehende DMT durch Ergänzung von Komponenten und geringe Anpassungen auf weitere Gefahrenquellen wie Hochwasser erweitern lässt. Es fehlt allerdings noch ein Mechanismus, der die Systemkomponenten abhängig vom Einsatzszenario selbstständig orchestriert und konfiguriert. Dies wäre ein wichtiger Schritt hin zu einem System, welches für unterschiedliche Gefahrenquellen und in verschiedenen Phasen des Katastrophenzyklus einsetzbar ist. Auch die Spezifikation der Datenformate stellt nur den ersten Schritt hin Standardspezifikationen dar. Weiterführende Forschungen in diesem Gebiet wurden im Projekt „Modellbasiertes Ressourcenmanagement für Hochwasserereignisse und Interoperabilität der beteiligten Komponenten“ unternommen.

Viele Möglichkeiten der elektronischen Unterstützung einer Einsatzleitung konnte die Arbeit nur streifen. Gerade durch die automatische Auswertung und Aggregation von Informationen ermöglicht ein Mehr an Daten auch ein Mehr an Informationen für den Entscheidungsträger, ohne ihn damit zu überfordern. Eine Datenerfassung mit modernen Sensortechniken, wie z. B. Laserscanner, ermöglicht eine schnellere und genauere Lageerfassung. Werden solche Sensoren auf autonomen Drohnen montiert, ergeben sie eine effektive Option für die Erkundung eines Einsatzgebietes. Die Idee des *Internet of Things (IoT)* eröffnet weitere Datenquellen durch die Vernetzung verschiedener Sensoren. So kann z. B. der Status von Feldkräften und ihren Gerätschaften immer aktuell erfasst werden. Eine weitere Möglichkeit ist es, durch Sensoren den Zustand von Gebäuden, Infrastruktur oder verletzten Personen zu erfassen. Als Netzwerkinfrastruktur dieser Dienste könnten Techniken wie Ad-Hoc-Netzwerke in [MM04] dienen..

## Weiterführende Forschungsfelder

Die Verarbeitung unscharfer Daten und der Einsatz von Methoden aus der künstlichen Intelligenz bieten umfangreiche Ansatzpunkte für weitere Forschungsarbeiten im Themenkomplex der Arbeit.

So lassen sich die verwendeten Fuzzy-Logik-Methoden noch deutlich erweitern. Regelbasierte Fuzzy-Systeme basieren auf nicht adaptiven statischen Modellen, deren Fehlverhalten durch einen Entwickler analysiert und von Hand korrigiert werden muss. Hybride Systeme kombinieren neuronale Netze mit Fuzzy-Logik [Lip06b]. Durch diese Kopplung wird das Modell anhand von Rückmeldungen während seiner Nutzung verfeinert. Eine andere Möglichkeit stellen L-Fuzzy-Mengen dar [KKG13]. Sie verallgemeinern Fuzzy-Mengen, um den Unterschied zwischen verschiedenen Zugehörigkeitsgraden zu verwischen, indem sie Fuzzy-Mengen von Fuzzy-Mengen definieren. Dies geschieht über Typ-2-Fuzzy-Mengen, die normale Fuzzy-Mengen, auch als Typ-1-Fuzzy-Mengen bezeichnet, als Elemente ihrer Universalmenge enthalten.

Neben dem Einsatz bei hybriden Fuzzy-Logik-Systemen, sind Methoden der künstlichen Intelligenz auch an anderer Stelle interessant. Von Computern interpretierbare

Modelle, wie das des Entscheidungsprozesses in dieser Arbeit, vereinfachen ihren Einsatz. Bei der Erstellung von Entscheidungshilfen stellt aktuell das Deep Learning, eine Umsetzung der Idee von neuronalen Netzen [LBH15], einen interessanten Ansatz dar. Entsprechende Netze könnten selbstständig Hilfestellungen ermitteln und verbessern. Als Quelle für den Lernprozess könnten die Ergebnisse von realen Einsätze, Übungen oder durch Experten bearbeitete Szenarien dienen. Ein so mit Basiswissen geschultes System kann wiederum Szenarien bearbeiten und sein Wissen weiter vertiefen, indem menschliche Experten seine Ergebnisse bewerten und korrigieren. Liegen gute Simulationsmodelle vor, können diese auch als Grundlage von Lernprozessen dienen. Es ist eine selbstständige Verbesserung denkbar, indem Szenarien mit variierenden Vorgehensweisen durchgespielt und anhand ihres Erfolges verglichen werden.

# A. Anhang

## A.1. Fuzzy Logik

In der vorliegenden Arbeit wird Fuzzy Logik bei der Auswertung unscharfer Informationen verwendet. Die folgenden Abschnitte geben eine Einführung in das Thema.<sup>1</sup>

### A.1.1. Fuzzy-Mengen

In der klassischen Mengenlehre bestimmt die charakteristische Funktion „scharfer“ Mengen durch die Abbildung  $\chi_K : G \rightarrow \{0, 1\}$ , ob ein Element  $x$  zur Menge  $K$  aus der Grundmenge  $G$  gehört ( $\chi_K(x) = 1 \Rightarrow x \in K$ ) oder nicht ( $\chi_K(x) = 0 \Rightarrow x \notin K$ ). Bei unscharfen Mengen wird der Wertevorrat dieser Funktion auf das Intervall der reellen Zahlen zwischen 0 und 1 erweitert. Eine Zugehörigkeitsfunktion (*membership function*)  $\mu_F : G \rightarrow [0, 1]$  legt für jedes Element  $x$  aus der Grundmenge  $G$  den Zugehörigkeitsgrad  $\mu_F(x)$  zu einer Fuzzy-Menge (*fuzzy set*)  $F = \{(x, \mu_F(x)) \mid x \in G\}$  fest. Dabei hat  $\mu_F(x) = 0$  die Bedeutung keine und  $\mu_F(x) = 1$  volle Zugehörigkeit. Ein Wert wie z. B.  $\mu_F(x) = \frac{1}{2}$  kann als halbe Zugehörigkeit verstanden werden. Im Gegensatz zu scharfen Mengen kann eine Fuzzy-Menge unendlich viele Zugehörigkeitsfunktionen besitzen. Oft werden zur einfacheren grafischen Darstellung die Zugehörigkeitsfunktionen so gewählt, dass die Summe der Funktionswerte auf jedem Element aus  $G$  gleich 1 ist. Notwendig ist dies allerdings nicht und Summen größer oder kleiner 1 sind zulässig.

Als Zugehörigkeitsfunktion ist jede Funktionen möglich, die auf den Wertebereich  $[0, 1]$  abbilden. Typische Arten ihrer Darstellung sind die grafische Form wie in Abbildung A.1, die parametrische Form als analytische Funktion

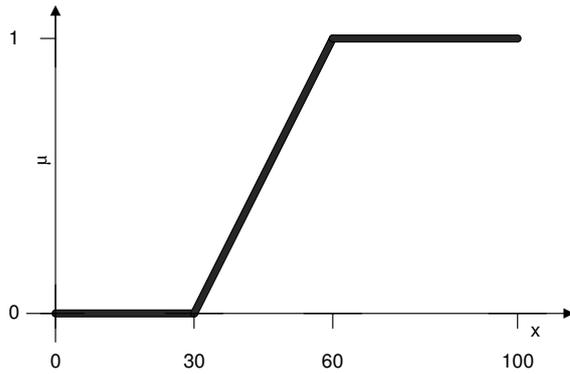
$$\mu_F(x) = \begin{cases} 0 & \text{falls } x < 30 \\ \frac{x-30}{30} & \text{falls } x \geq 30 \wedge x \leq 60 \\ 1 & \text{falls } x > 60 \end{cases}$$

sowie die Darstellung als diskrete Wertpaare

$$\mu_F(x) = \{(0.1, 0), (30, 0), (60, 1), (100, 1)\}.$$

---

<sup>1</sup>Für weitere Details sei auf die Erläuterungen in [Lip06b, Unb08, KKG13, Zim13] verwiesen, die als Grundlage für die Einführung gedient haben.

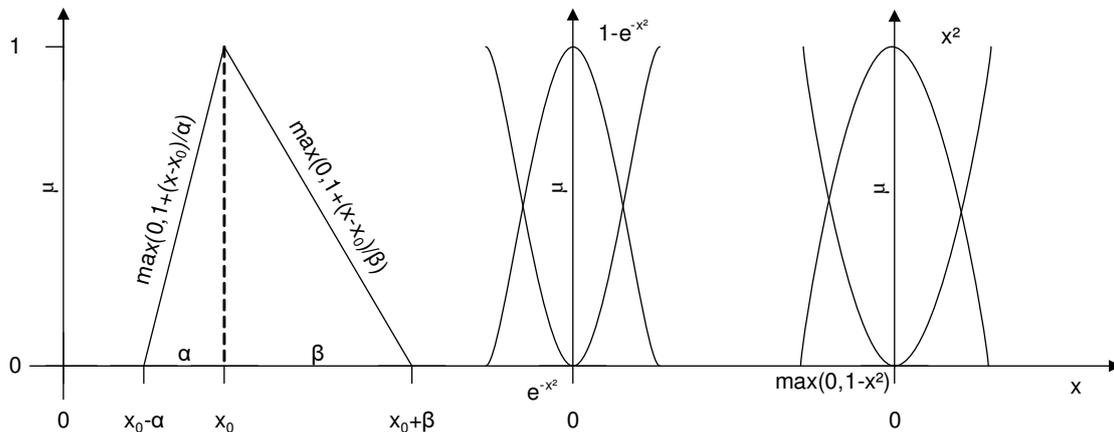


**Abbildung A.1.:** Darstellung einer Fuzzy-Zugehörigkeitsfunktion als Kennlinie

Anhand des zu modellierenden Zusammenhangs können verschiedene Zugehörigkeitsfunktionen gewählt werden. Typisch sind trianguläre oder trapezförmige Funktionen, glockenförmige Kurven sowie Punkte (auch als Singletons bezeichnet). Häufig wird als parametrische Form die LR-Darstellung genutzt, deren symbolische Kurzschreibweise  $A = (x_0, \alpha, \beta)_{LR}$  lautet. Sie besteht aus zwei monotonen, aber nicht notwendigerweise gleichen Referenzfunktionen L (linke Seite) und R (rechte Seite) mit einer Schwankungsbreite  $\alpha, \beta > 0$  an der Stelle  $x_0$ :

$$\mu_F(x) = \begin{cases} L\left(\frac{x-x_0}{\alpha}\right) & \text{falls } x \leq x_0 \\ R\left(\frac{x_0-x}{\beta}\right) & \text{falls } x \geq x_0 \end{cases}$$

Abbildung A.2 zeigt einen Teil der typischen Referenzfunktionen, die über die LR-Darstellung beschrieben werden, wobei  $\max(x_0, x) = \begin{cases} x & \text{falls } x > x_0 \\ x_0 & \text{falls } x \leq x_0 \end{cases}$  ist.



**Abbildung A.2.:** Typische Referenzfunktionen der LR-Darstellung

Gerade zur Beschreibung verbaler Ausdrücke der Form „ungefähr zwischen A und B“ werden Fuzzy-Intervalle (siehe Abbildung A.3) in Form einer Trapezfunktion

verwendet. Ihr aufsteigender Teil bis zur Stelle  $x_A$  und der abfallende Teil ab  $x_B$  werden ebenfalls durch eine L- bzw. R-Funktion repräsentiert. Man verwendet die symbolische Schreibweise  $A = (x_A, x_B, \alpha, \beta)_{LR}$ :

$$\mu_F(x) = \begin{cases} L\left(\frac{x-x_A}{\alpha}\right) & \text{falls } x < x_A \\ 1 & \text{falls } x_A \leq x \leq x_B \\ R\left(\frac{x_B-x}{\beta}\right) & \text{falls } x > x_B \end{cases}$$

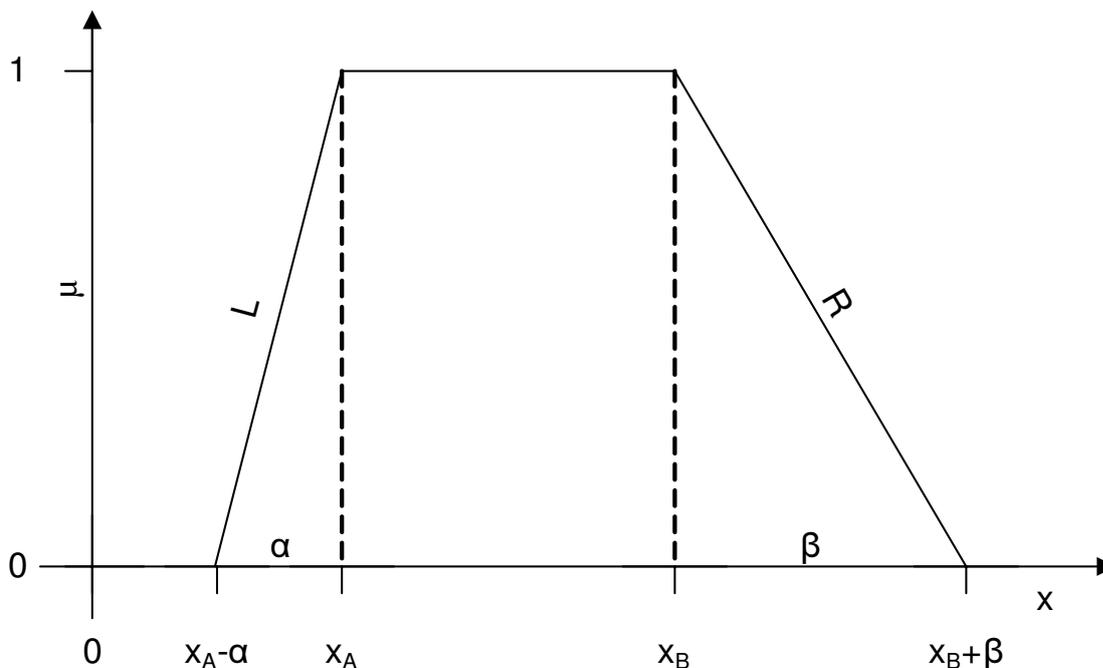


Abbildung A.3.: Trapezfunktion der LR-Darstellung

Die Semantik von Fuzzy-Mengen lässt sich physikalisch oder epistemisch interpretieren. Im physikalischen Fall beschreibt die Fuzzy-Menge ein reales unscharfes Objekt bzw. dessen Zustand. Die Unschärfe ist also eine Eigenschaft der physikalischen Realität. Im Grauwertbild eines einer Luftaufnahme z. B. stellen die Graustufen unscharfe Grenzen zwischen Objekten dar und keine unscharfe Beschreibung scharfer Grenzen. In der epistemischen Interpretation dagegen beschreibt die Fuzzy-Menge die unscharfe Beobachtung eines scharfen Objektes, spiegelt also die Unvollkommenheit der Erkenntnis über die Realität wider. Die Beobachtung eines Gebäudeschadens durch den Einsatzleiter eines Brandeinsatzes ist ein Beispiel dafür. Im diesem Fall ergibt sich die Quelle für Unschärfe aus der Beobachtung und ihrer sprachlichen Darstellung, also aus der unvollkommenen Wahrnehmung der Realität und ihrer Abbildung in Sprache. Für die Modelle dieser Arbeit wurde daher die epistemische Interpretation gewählt. Linguistische Variablen ermöglichen die formalisierte Darstellung sprachlicher Unschärfe. Mit ihnen lassen sich Phänomene erfassen, die komplex und/oder wenig strukturiert sind. Dies vereinfacht es Experten, ihr Wissen

in Regeln abzubilden. Im Gegensatz zu numerischen Variablen sind die Ausprägungen (bzw. Werte) einer linguistischen Variablen nicht Zahlen, sondern Wörter oder Ausdrücke in einer natürlichen oder künstlichen Sprache. Ihre einzelnen Ausprägungen (auch als linguistische Terme bezeichnet) werden durch Fuzzy-Mengen repräsentiert.

Die linguistische Variable  $L$  ist definiert als Gruppe von sich gegenseitig mehr oder weniger überlappenden Fuzzy-Mengen  $F_i$ , die durch die Zugehörigkeitsfunktionen  $\mu_{F_i}$  definiert sind und zumeist die gleiche Basisvariable aufweisen. Die Fuzzy-Mengen einer linguistischen Variablen, auch als Terme bezeichnet, sind die beschreibenden Ausprägungen verschiedener Teilaspekte eines übergeordneten Begriffs. Sie stehen damit in einem begrifflichen Zusammenhang untereinander und lassen sich als „Klassen“ der linguistischen Variablen verstehen. Die linguistische Grundmenge  $L = \{F_1, \dots, F_i\}$  beschreibt somit den Wertebereich der linguistischen Variablen mit den linguistischen Termen  $F_1$  bis  $F_i$ . Üblich sind fünf ( $i = 10$ ) bis max. zehn linguistische Terme ( $i \leq 10$ ) pro Variable. Verwendet man zu wenig, sind die möglichen Differenzierungen gering. Bei mehr als zehn Termen dagegen ist es für Menschen oft schwierig, die einzelnen Ausprägungen zu unterscheiden. Die Elemente  $F_i \in L$  werden über eine Referenzmenge  $G$  definiert, die meist eine reellwertige Basisskala  $G = \{x | x \in \mathbb{R} \wedge x_{min} \leq x \leq x_{max}\}$  aufweist und ggf. nach unten ( $x_{min}$ ) und oben ( $x_{max}$ ) beschränkt ist. Fuzzy-Menge sind somit definiert als  $F_i = \{(x, \mu_{F_i}(x)) | x \in G\}$  mit der Zugehörigkeitsfunktion  $\mu_{F_i}(x)$ . Ein Beispiel für die Nutzung linguistischer Variablen in dieser Arbeit findet sich in Unterabschnitt 5.4.3.

## A.1.2. Eigenschaften und Definitionen

Die folgende Aufzählung erläutert einige wichtige Eigenschaften und Kenngrößen einer Fuzzy-Menge  $F$  über  $G$ :

- *Höhe*:  $height(F) = \sup_{x \in G} (\mu_F(x))$ .
- *Co-Höhe* (Tiefe, Infimum):  $coheight(F) = \inf_{x \in G} (\mu_F(x))$ .
- $\alpha$ -*Niveaumenge* ( $\alpha$ -Schnitt/cut):  $cut_\alpha(F) = \{x | x \in G \wedge \mu_F(x) > \alpha\}$  für  $\alpha \in [0, 1]$ , somit die Elemente in  $G$ , deren Zugehörigkeitsgrad größer als  $\alpha$  ist.
- $\alpha$ -*Ebene* ( $\alpha$ -Level):  $level_\alpha(F) = \{x | x \in G \wedge \mu_F(x) = \alpha\}$  für  $\alpha \in [0, 1]$ , also die Elemente in  $G$ , deren Zugehörigkeitsgrad gleich  $\alpha$  ist.
- *Träger* (support):  $supp(F) = \{x | x \in G \wedge \mu_F(x) > 0\}$ , die Elemente in  $G$  die teilweise oder ganz zur Fuzzy-Menge  $F$  gehören.
- *Kern* (core):  $core(F) = \{x | x \in G \wedge \mu_F(x) = 1\}$ , die Elemente in  $G$  mit dem Zugehörigkeitsgrad von 1.
- *Normal* (oder normalisiert): alle Fuzzy-Mengen, für die  $height(F) = 1$  ist.

Analog zur Mengenlehre lassen sich Gleichheits- und Teilmengenbeziehungen zwischen den Fuzzy-Mengen  $A$  und  $B$  über  $G$  mit den Zugehörigkeitsfunktionen  $\mu_A$  bzw.  $\mu_B$  wie folgt definieren:

- *Gleichheit*:  $A = B$  gilt, wenn  $\mu_A(x) = \mu_B(x) \forall x \in G$ .
- *Teilmengenbeziehung*:  $A \subseteq B$  lässt sich zu  $\mu_A(x) \leq \mu_B(x) \forall x \in G$  verallgemeinern. Über diese Beziehung lassen sich sprachliche Abschwächung modellieren, wie z. B. von „warm“ zu „sehr warm“ oder von „schnell“ zu „sehr schnell“.

Operationen auf zwei Fuzzy-Mengen  $A$  und  $B$  über  $G$  mit den Zugehörigkeitsfunktionen  $\mu_A$  bzw.  $\mu_B$  lassen sich gemäß Zadeh [Zad65] als Verallgemeinerung der mengenalgebraischen Operationen Komplement ( $\bar{A}$ ), Durchschnitt ( $A \cap B$ ) und Vereinigung ( $A \cup B$ ) definieren:

- *Komplement*:  $\bar{A} = \{(x, \mu_{\bar{A}}(x)) \mid x \in G\}$  mit  $\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$ ;
- *Durchschnitt* (fuzzy intersection):  
 $A \cap B = \{(x, \mu_{A \cap B}(x)) \mid x \in G\}$  mit  $\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x))$ ;
- *Vereinigung* (fuzzy union):  
 $A \cup B = \{(x, \mu_{A \cup B}(x)) \mid x \in G\}$  mit  $\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x))$ .

Auf Basis der t-Norm bzw. t-Conorm (s-Norm) lassen sich alternative Operatoren für Vereinigung und Durchschnitt festlegen, wie das algebraische Produkt für die Vereinigung ( $A \cup B$ ) sowie die algebraische Summe für den Durchschnitt ( $A \cap B$ ):

- *Algebraische Summe*:  
 $A \cap B = \{(x, \mu_{A \cap B}(x)) \mid x \in G\}$  mit  $\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \mu_B(x)$ ;
- *Algebraisches Produkt*:  
 $A \cup B = \{(x, \mu_{A \cup B}(x)) \mid x \in G\}$  mit  $\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \mu_B(x)$ .

Analog zu der hier gewählten Sichtweise als Modell unscharfer Mengen, lässt sich Fuzzy Logik auch als Verallgemeinerung der zweiwertigen Logik beschreiben, wie es u. a. von Zimmermann [Zim13] dargestellt. Über Zusatzeigenschaften lassen sich mit Fuzzy-Mengen außerdem sogenannte Fuzzy-Zahlen beschreiben. Diese erlauben die Beschreibung von Ausdrücken wie z. B. „ungefähr 100“, auf denen klassische Arithmetik wie auf Zahlen möglich ist, indem diese mit dem Extensionsprinzip auf Fuzzy-Zahlen fortgesetzt wird. Im Rahmen dieser Arbeit finden diese Konzept keine Anwendung.<sup>2</sup>

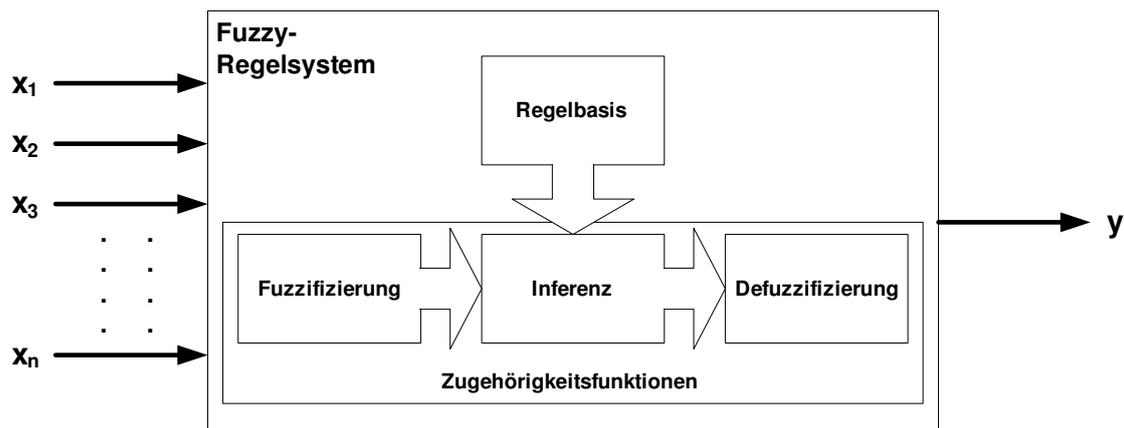
### A.1.3. Fuzzy-Entscheidungssysteme

Nach der Einführung in die Grundprinzipien der Fuzzy Logik wird im Folgenden auf ihre Anwendung in einem *Fuzzy-Entscheidungssystem* eingegangen, wie es in dieser Arbeit genutzt wird. Fuzzy-Entscheidungssysteme (auch *regelbasierte Fuzzy-Systeme*) werden im Wesentlichen in der *Prozesssteuerung* und in *Expertensystemen*

<sup>2</sup>Für weitere Details siehe Ott [Ott01, Seite 35-40] oder Lippe [Lip06a, Seite 314-334].

eingesetzt. Ziel bei der Prozesssteuerung ist es, einen laufenden Prozess in einem Zustand zu halten oder einen Zustand zu erreichen, in dem Messwerte aus dem Prozess ermittelt und daraus Stellwerte bestimmt werden, um den Prozessablauf entsprechend zu beeinflussen. Das Fuzzy-Entscheidungssystem dient in diesem Kontext als Steuereinheit, die als *Fuzzy-Controller* bezeichnet wird. Dabei erleichtert die intuitive verbale Beschreibung von Zusammenhängen es Experten, die Steuerung zu modellieren. Die einfache und unkomplizierte Berechnung ermöglicht eine schnelle und günstige Implementierung in Hardware. In *Expertensystemen* liegen häufig unscharfe Eingangsdaten vor, die durch eine *Entscheidungseinheit* interpretiert werden sollen. Im Rahmen eines üblicherweise iterativen Prozesses werden die Eingangsdaten ermittelt, Entscheidungen gefällt und ggf. wieder neue Eingangsdaten erfasst. In ähnlicher Form kommen *Fuzzy-Filter* bei der Mustererkennung oder bei anderen Filteraufgaben zum Einsatz. Der Aufbau der Systeme ist dabei sehr ähnlich, weshalb sie im Weiteren gemeinsam als Fuzzy-Entscheidungssysteme behandelt werden.

Das Konzept eines regelbasierten Fuzzy-Systems wurde 1972 von Zadeh [Zad72] vorgestellt. Die ersten Fuzzy-Controller, die noch heute verbreiteten Mamdani-Controller, gehen zurück auf Mamdani [Mam74]. Später wurde der Sugeno-Controller vorgeschlagen [Sug85]. Er stellt eine modifizierte und effizientere Version des Mamdani-Controllers dar, die allerdings in der Feinheit der Steuerung eingeschränkt ist.



**Abbildung A.4.:** Regelbasiertes Fuzzy-System mit  $n$  Eingängen und einem Ausgang (siehe [Unb08])

Abbildung A.4 zeigt die Bestandteile regelbasierter Fuzzy-Systeme, die wie ein Mamdani-Controller aufgebaut sind. Dieser besteht im Kern aus einer Fuzzy-Regelmenge und einem Inferenzschema. Sie definieren die Verarbeitungsvorschriften, um die unscharfen Eingangsgrößen  $x_i \in G$  zu einer unscharfen Ausgangsgröße  $y$  zu verarbeiten. Durch die Aufteilung in mehrere Fuzzy-Systeme kann die Beschränkung dieses Controllers auf eine Ausgangsgröße kompensiert werden. Abhängig vom Einsatzzweck kommt zu diesem Basisschema eine Fuzzifizierung und Defuzzifizierung der Eingangs- bzw. Ausgangsgrößen. Bei der Fuzzifizierung werden physikalisch messbare (scharfe) Eingangsgrößen  $x_i$  durch die Fuzzifizierung in unscharfe Eingangsgrößen

umgewandelt. Jedem diskreten Einzelwert werden die Zugehörigkeitsgrade zu den Fuzzy-Termen zugeordnet. Umgekehrt wandelt eine Defuzzifizierung die unscharfe Ausgangsgröße  $y$  in eine diskrete Mess- oder Steuergröße um.

### Linguistische Regeln und Zugehörigkeitsfunktionen

Die Fuzzy-Regelmenge  $R$  enthält eine Anzahl linguistischer Regeln ( $R = \{R_1 \dots R_n\} \mid n \in \mathbb{N}$ ), welche aus einem Bedingungsteil (*Prämisse*) und einer Folgerung (*Konklusion*) bestehen. Typischerweise wird vorausgesetzt, dass eine Prämisse ausschließlich Konjunktionen als Verknüpfungsoperatoren zwischen den Teilprämissen verwendet. Beschrieben werden die Regeln in WENN-DANN-Form (IF THEN-Regeln):

$R_n : WENN (x_1 = F_i) UND \backslash ODER \dots UND \backslash ODER (x_m = F_j) DANN (y_n = G)$

$R_n$  ist die  $n$ -te Regel in der Regelmenge  $R$ .  $x_1$  bis  $x_m$  stellen die scharfen oder unscharfen Werte aus dem Vektor der Eingangsvariablen zu dem Zeitpunkt der Auswertung der Regel dar.  $F_i$  und  $F_j$  sind unscharfe Mengen aus der gleichen Grundmenge wie  $x_1$  bzw.  $x_m$ . Abhängig von der Auswertung der Prämisse wird die Konklusion der Regel in der Variable  $y_n$  aus der Fuzzy-Menge  $Y$  abgelegt. Dabei hat die Konklusion jeder Regel nur genau eine Fuzzy-Ausgabemenge. Lesen lässt sich eine Regel der Form „*WENN* ( $x = F_i$ ) *DANN* ( $y = G$ )“ wie folgt: „Wenn die Eingangsvariable  $x$  eine Zugehörigkeit zur Menge  $F_i$  aufweist, wird der Ausgangsvariable  $y$  eine Zugehörigkeit zu  $G$  zugewiesen.“

Die in der Regelbeschreibung genutzten Fuzzy-Mengen  $F_i$  bis  $F_j$  sind Teilmengen des Eingaberaums  $X^*$ , während der Wert der Ausgangsvariable  $G$  Teilmenge des Ausgaberaums  $G^*$  ist. Dabei sind  $X^*$  und  $G^*$  meist in Teilräume  $X_n$  bzw.  $G_m$  partitioniert (z. B.  $X^* = \{X_1 \dots X_n\} \mid n \in \mathbb{N}$ ). Ein Teilraum setzt sich aus mehreren Fuzzy-Mengen zusammen, die sich auch überlappen können (z. B.  $X_1 = \{F_{11} \dots F_{1m}\} \mid m \in \mathbb{N}$ ). Jede Fuzzy-Menge ist charakterisiert durch einen verbalen Ausdruck wie in Unterabschnitt A.1.1 beschrieben.

### Fuzzifizierung

Die Eingangsvariablen in Szenarien, in denen Fuzzy-Controller zum Einsatz kommen, haben scharfe Werte, wie z. B. die Messergebnisse einer Steuerungseinheit. Diese müssen in Zugehörigkeitsgrade von Fuzzy-Mengen und damit in linguistische Werte übersetzt werden, bevor sie mit Fuzzy-Regeln auswertbar sind. Abhängig vom Einsatzfeld kommen dazu unterschiedliche Methoden zum Einsatz, wie die Transformation in eine Trapez- oder eine Gaußmenge. Ist bei einer Sensormessung das Fehlverhalten bekannt, kann dies in die Fuzzifizierung einfließen. Allgemein ist es allerdings schwierig, Unschärfe abzuschätzen. Daher kommt in der Praxis meist ein Singleton-Fuzzifizierer zum Einsatz, der eine besonders einfache Auswertung durch

Regeln ermöglicht (vgl. [Lip06b, S. 340 ff.]). Eine Fuzzifizierung ist nicht mehr notwendig, wenn die Eingangswerte bereits als passende unscharfe Menge vorliegen, wie z. B. in Form einer verbalen Aussage.

## Fuzzy-Inferenz

Der zur Auswertung der Regelmenge verwendete Fuzzy-Inferenzschritt ist eine Verallgemeinerung des Modus Ponens aus der klassischen Logik. In der klassischen Logik lässt sich die Aussage „Wenn A, dann B“ ( $A \wedge (A \rightarrow B) \xrightarrow{MP} B$ ) eindeutig interpretieren, da sich der aussagenlogische Schluss auf Wahrheitswerte stützt. In der Fuzzy-Regel wird dagegen eine Aussage auf Mengen getroffen. Bei der Fuzzy-Inferenz stellt sich die Aussage „Wenn A, dann B“ daher dar als  $A_i \wedge (A \rightarrow B) \xrightarrow{FI} B_j$  mit  $A_i \subseteq A$  und  $B_j \subseteq B$ . Die Frage ist, wie dieses unscharfe Schließen implementiert werden kann.

Zunächst ist die Auswertung der Prämisse einer Regel  $R$  notwendig. Sei  $P(R_n) = (x_1 = F_i) \bullet (x_2 = F_j) \bullet \dots \bullet (x_n = F_k)$  die Prämisse der  $n$ -ten Regel  $R_n$ , wobei ' $\bullet$ ' für die Verknüpfungen vom Typ UND oder ODER zwischen den Aussagen steht. Der *Erfülltheitsgrad* (auch Aktivierungsgrad) der Gesamtaussage  $a_{R_n} = \mu_{F_i}(x_1) \bullet \mu_{F_j}(x_2) \bullet \dots \bullet \mu_{F_k}(x_n)$  ergibt sich aus der Verknüpfung des Ergebnisses der einzelnen Aussagen mithilfe des gewählten Operators für die Bildung von Durchschnitt und Vereinigung. Dabei werden die in Unterabschnitt A.1.2 dargestellten paarweisen Operatoren für UND sowie ODER gewählt, wie z. B. das Minimum ( $a_{R_n} = \min(\mu_{F_i}(x_1), \mu_{F_j}(x_2), \dots, \mu_{F_k}(x_n))$ ) für eine UND-Verknüpfung und das Maximum ( $a_{R_n} = \max(\mu_{F_i}(x_1), \mu_{F_j}(x_2), \dots, \mu_{F_k}(x_n))$ ) für eine ODER-Verknüpfung.

Anhand des Erfülltheitsgrades einer Regel erfolgt die Auswertung ihrer Konklusion, die als *Aktivierung* bezeichnet wird. Dabei erzeugt eine Regel  $R_n$  eine Ausgabe  $y$  aus der Fuzzy-Menge  $G'_{R_n}$ . Wie schon bei den Verknüpfungsoperatoren gibt es hierfür unterschiedliche Möglichkeiten (siehe [Zim13, KKG13]). Bei Verwendung der Mamdani-Implikation z. B. findet das *Minimumverfahren* Anwendung  $g'_{R_n}^{min} := y \rightarrow \min(a_{R_n}, g_{R_n}(y))$ , wobei  $g_{R_n}(y)$  die Zugehörigkeitsfunktion der Fuzzy-Menge  $G$  der Konklusion darstellt. Alternativ lässt sich das Produktverfahren anwenden, bei welchem  $g'_{R_n}^{prod} := y \rightarrow a_{R_n} g_{R_n}(y)$  gilt.

Die *Aggregation* als letzter Schritt führt die Ergebnisse der Regelkonklusionen zusammen. Dazu werden die Fuzzy-Ergebnismengen  $G'_{R_1} \dots G'_{R_n}$  der einzelnen Regeln 1 bis  $n$  miteinander zu einer Ergebnismenge  $B$  verknüpft bzw. es wird eine aggregierte Zugehörigkeitsfunktion  $b(y)$  bestimmt. Häufig kommt dafür der Maximumoperator zum Einsatz, da dieser die Mengen disjunkt und damit unter Berücksichtigung der Wirkungsanteile aller Regeln verknüpft. Er ist definiert als  $b := \max_{i \in \{1, \dots, n\}} g'_{R_i}(y)$ . Entspricht dabei  $g'_{R_n}$  außerdem dem Minimumverfahren, spricht man von einer Max-Min-Inferenz oder auch Mamdani-Implikation. Ein alternativer

Operator, der auch in Regeln der vorliegenden Arbeit zum Einsatz kommt, ist die

normierte Summe. Sie ist definiert als

$$b'_{R^*} := \frac{\sum_{i \in \{1, \dots, n\}} g'_{R_i}(y)}{\max \left( 1, \max_{x \in B} \left( \sum_{i \in \{1, \dots, n\}} g'_{R_i}(x) \right) \right)}$$

### Defuzzifizierung

In den meisten Anwendungsfällen für Fuzzy-Controller muss das Ergebnis als „scharfer“ Wert vorliegen, weshalb aus der unscharfen Ergebnismenge  $B$  eine reelle Zahl  $y_B$  abzuleiten ist. Auch dafür stehen zahlreiche Funktionen zur Verfügung, häufig angewendete werden hier vorgestellt:<sup>3</sup>:

- Die **Maximum-Methode**  $y_B^{MAX}$  wählt aus  $B$  den Wert aus, für den der Zugehörigkeitsgrad in  $b(y)$  maximal ist. Problematisch ist diese Regel, wenn es mehrere Elemente gibt, die diese Voraussetzung erfüllen. Für diesen Fall muss eine deterministische Regel, wie z. B. immer die kleinste mögliche Zahl ( $\max(b(y)) \wedge \min(y)$ ), festgelegt sein, nach der  $y_B$  ausgewählt wird. Da die Maximum-Methode einen unstetigen und sprungförmigen Ausgangsgrößenverlauf hat, ist sie zur Beschreibung stetiger Systeme eher ungeeignet.
- Für die „**Mittelwert der Maxima**“-Methode (MOM) wird der Mittelwert über die Stellen der Teilmengen gewählt, für die der Zugehörigkeitsgrad das Maximum erreicht. Im diskreten Fall ist sie definiert als  $y_B^{MOM} = \frac{1}{|\max\{b(x_i|x_i \in B)\}|} \sum_{y \in \max\{b(x_i|x_i \in B)\}} y$ . Auch diese Methode weist einen sprungförmigen Ausgangsgrößenverlauf auf und kann abhängig von der Ergebnismenge unsinnige Ausgabewerte liefern.
- Die **Schwerpunkt-Methode** (center of gravity) hat den Flächenschwerpunkt der Ergebnismenge  $B$  als Ausgabewert. Sie ist definiert als  $y_B^{COG} = \frac{\int_{x \in B} b(x) \cdot x \, dx}{\int_{x \in B} b(x) \, dx}$ . Die Schwerpunkt-Methode berücksichtigt alle Zugehörigkeitswerte und erzeugt einen relativ glatten Ausgangsgrößenverlauf, ist allerdings unter den hier vorgestellten Methoden am aufwendigsten zu berechnen.

---

<sup>3</sup>Einen umfangreicheren Überblick und Vergleiche liefern [KF93], [DHR93] und [KF88].



## A.2. Formular zur Schadensmeldung

Ort:		Zeit: Uhr		Haus Nr. / markanter Punkt						Zusammenfassung	
A Anton	Personen	betroffen								A =	
B Berta		verletzt								B =	
C Cäsar		verschüttet								C =	
D Dora		verschüttet / verletzt								D =	
E Emil		vermisst								E =	
F Friedrich		tot								F =	
G Gustav	Verlet- zten	Ablage								G =	
H Heinrich		Verbandplatz								H =	
I Ida	Objekte / Gebäude	angeschlagen beschädigt								I =	
J Julius		teilzerstört, teilw. zusammengebrochen								J =	
K Kaufmann		zerstört, zusammengebrochen								K =	
L Ludwig	Block- ierung	teillockiert								L =	
M Martha		blockiert								M =	
N Nordpol	Brände	Entstehungsbrand								N =	
O Otto		fortgeschrittener Brand								O =	
P Paula		Vollbrand								P =	
Q Quelle	Besondere Gefahren	Gefährliche Stoffe								Q =	
R Richard		Radioaktivität								R =	
S Samuel		Öl								S =	
T Theodor		Elektrische Energie								T =	
U Ulrich		Chemische Gefahr								U =	
V Victor		Sprengkörper / Blindgänger								V =	
W Wilhelm		Explosionsgefahr								W =	
X Xantippe		Biologische Gefahr								X =	
Y Ypsilon											
Z Zacharias		Anforderung:									

Abbildung A.5.: Beispiel für Formular zur Schadensmeldung (gemäß [AKN13])

## A.3. Schadensklassen und Risiken

### A.3.1. Schadensklassen

Bezeichner in Regel- und Datenbasis	Numerischer Wert	Beschreibung
Struktureller Schaden		
<i>DS0</i>	0	not damaged
<i>DS1</i>	1	slightly damaged
<i>DS2</i>	2	moderately damaged
<i>DS3</i>	3	extensively damage
<i>DS4</i>	4	completely damaged
<i>DS4a</i>	5	stricken
<i>DS4b</i>	6	particially collaped
<i>DS5</i>	7	collapsed
Feuerschaden		
<i>NotBurning</i>	0	not burning
<i>LowBurning</i>	1	low burning
<i>ModeratlyBurning</i>	2	moderatly burning
<i>HighBurning</i>	3	high burning
Feuerschaden		
<i>NotBurned</i>	0	not burned
<i>LowBurned</i>	1	low burned
<i>ModeratelyBurned</i>	2	moderately burned
<i>StronglyBurned</i>	3	strongly burned
<i>BurnedOut</i>	4	burned out
Straßenschaden		
<i>Free</i>	0	free
<i>Blocked</i>	1	blocked
Personenschaden		
<i>T0</i>		not injured
<i>T1</i>		immediate treatment

<i>T2</i>		delayed treatment
<i>T3</i>		minor injured
<i>T4</i>		small chance
<i>T5</i>		deceased

### A.3.2. Risikoklassen

Bezeichnung/Beschreibung	Numerischer Wert
Risikobewertung (Abschnitt 6.5)	
<i>no risk</i>	0
<i>low risk</i>	1
<i>medium risk</i>	2
<i>high risk</i>	3
<i>unknown risk</i>	4
<i>undefined</i>	nicht definiert
Beurteilung Gefahrstoffpotenzial (Unterunterabschnitt 6.3.2.3)	
<i>keines</i>	0
<i>gering</i>	1
<i>mittel</i>	2
<i>hoch</i>	3
Gefährdungsklassen (Unterabschnitt 7.2.1)	
<i>none</i>	5
<i>unknown</i>	4
<i>low</i>	3
<i>medium</i>	2
<i>high</i>	1

## A.4. Klassen der Gebäudenutzung

Im DMT kommt zur Festlegung der Nutzung eines Gebäude, die Klassifikation der FEMA zu Einsatz (vgl. [FEM11]).

Abkürzung	Nutzungsklasse
Residential	
RES1	Single Family Dwelling House
RES2	Mobile Home
RES3	Multi Family Dwelling
RES3A	Duplex
RES3B	3-4 Units
RES3C	5-9 Units
RES3D	10-19 Units
RES3E	20-49 Units
RES3F	50+ Units
Apartment/Condominium	
RES4	Temporary Lodging Hotel/Motel
RES5	Institutional Dormitory Group Housing (military, college), Jails
RES6	Nursing Home
Commercial	
COM1	Retail Trade Store
COM2	Wholesale Trade Warehouse
COM3	Personal and Repair Services Service Station/Shop
COM4	Professional/Technical Services Offices
COM5	Banks
COM6	Hospital
COM7	Medical Office/Clinic
COM8	Entertainment & Recreation Restaurants/Bars
COM9	Theaters

COM10	Parking Garages
<del>COM11</del>	<del>Retail Trade</del>
Industrial	
IND1	Heavy Factory
IND2	Light Factory
IND3	Food/Drugs/Chemicals Factory
IND4	Metals/Minerals Processing Factory
IND5	High Technology Factory
IND6	Construction Office
Agriculture	
AGR1	Agriculture
Religion/Non/Profit	
REL1	Church/Non-Profit
Government	
GOV1	General Services Office
GOV2	Emergency Response Police/Fire Station/EOC
Education	
EDU1	Grade Schools
EDU2	Colleges/Universities (Does not include group housing)

### A.5. Mögliche Datentypen der Fakten- und Wissensbasis

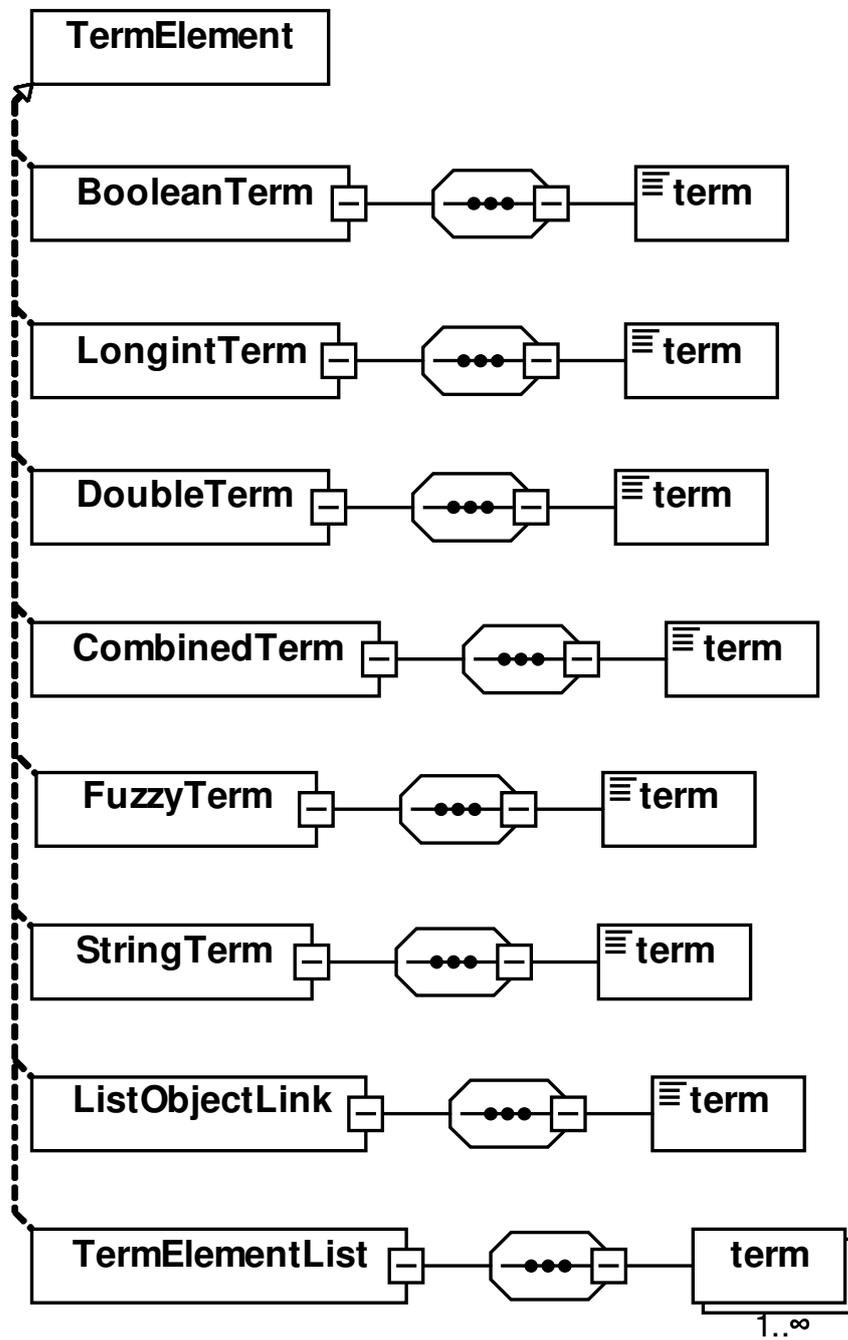


Abbildung A.6.: Fakten und Wissensbasis - Datentypen

## A.6. Auswertungsterme der Wissensbasis

### A.6.1. Such- und Rettungsarbeiten

#### Einsturzfläche

$C.Umw.Geb\#Einsturzfläche^C\{OID^T, S^I\}^F =$   
 $A.Umw.Geb.\$OID^T\$\#Grundfläche^F * R.Umw.Geb\#Flächenfaktor^R\{OID^T, S^I\}\#Ergebnis$

#### Einsturzvolumen

$C.Umw.Geb\#Einsturzvolumen^C\{OID^T, S^I\}^F = A.Umw.Geb.\$OID^T\$\#Grundfläche^F *$   
 $R.Umw.Geb\#Volumenfaktor^R\{OID^T, S^I\}^F$

#### Volumenfaktor

$R.Umw.Geb\#Volumenfaktor^R\{OID^T, S^I\}^{L(*)}$   
 $Default\{Volumenfaktor^F = 1; Schadensfaktor^F = 1\}$   
 $\sim Schadensfaktor\ abhängig\ vom\ strukt.\ Schaden$   
 $Wenn(\$S^I\$ = 5)$   
 $Dann[Schadensfaktor^F = P.Umw.Geb\#FaktorStricken^F]$   
 $Wenn(\$S^I\$ = 6)$   
 $Dann[Schadensfaktor^F = P.Umw.Geb\#FaktorPartlyColl^F]$   
 $Wenn(\$S^I\$ = 7)$   
 $Dann[Schadensfaktor^F = P.Umw.Geb\#FaktorCollapsed^F]$   
 $\sim Volumenfaktor\ abh.\ vom\ Werkstoff$   
 $Wenn(A.Umw.Geb.\$OID^T\$\#Werkstoff^T = 'Beton')$   
 $Dann[Volumenfaktor^F = P.Umw.Geb\#VolumenfaktorBeton^F]$   
 $Wenn(A.Umw.Geb.\$OID^T\$\#Werkstoff^T = 'Mauerwerk')$   
 $Dann[Volumenfaktor^F = P.Umw.Geb\#VolumenfaktorMauerwerk^F]$   
 $Wenn(A.Umw.Geb.\$OID^T\$\#Werkstoff^T = 'Holz')$   
 $Dann[Volumenfaktor^F = P.Umw.Geb\#VolumenfaktorHolz^F]$   
 $Ergebnis\{Volumenfaktor = Volumenfaktor^F * Schadensfaktor^F\}$

### A.6.2. Betroffene Personen

#### Betroffene abhängig von Wochentag und Uhrzeit

$R.Umw.Geb\#PersonenErwarteteBetroffen^R\{OID^T\}^{L(*)}$

$Default\{Pers.Geb.\$OID^T\$^I = leer;$   
 $SchadenUhrzeit^I = F.Umw.Allgem\#SchadenUhrzeit^I;$   
 $SchadenWochentag^I = F.Umw.Allgem\#SchadenWochentag^I$   
 $Abgeleitet^B = wahr\}$   
 $\sim$  Auswahl nach Uhrzeit und Wochentag  
 $Wenn(\%EXIST\{F.Umw.Gebäude.\$OID^T\$^{L(*)}, 'SchadenUhrzeit'\}^B \&$   
 $\%EXIST\{F.Umw.Gebäude.\$OID^T\$^{L(*)}, 'SchadenWochentag'\}^B)$   
 $Dann[SchadenUhrzeit^I = F.Umw.Geb.\$OID^T\$ \# SchadenUhrzeit^I$   
 $SchadenWochentag^I = F.Umw.Geb.\$OID^T\$ \# SchadenWochentag^I]$   
 $Wenn$   
 $((SchadenUhrzeit^I > 800) \& (SchadenUhrzeit^I < 1600)) | (SchadenWochentag^I > 5))$   
 $Dann[Pers.Geb.\$OID^T\$^I = R.Umw.Geb.\$OID^T\$ \# PersonenImGeb^R$   
 $\{\$OID^T\$, 'Nacht'\} \# Betroffene^I]$   
 $Wenn$   
 $((SchadenUhrzeit^I > 800) \& (SchadenUhrzeit^I < 1600))$   
 $Dann[Pers.Geb.\$OID^T\$^I = R.Umw.Pers.\$OID^T\$ \# PersonenImGeb^R$   
 $\{\$OID^T\$, 'Arbeitszeit'\} \# Betroffene^I]$   
 $Wenn$   
 $((SchadenUhrzeit^I > 600) \& (SchadenUhrzeit^I < 800)) |$   
 $((SchadenUhrzeit^I > 1600) \& (SchadenUhrzeit^I < 1800))$   
 $Dann[Pers.Geb.\$OID^T\$^I = R.Umw.Geb \# PersonenImGeb^R \{\$OID^T\$, 'Berufsverkehr'\}$   
 $\# Prog.Betr.Geb.\$OID^T\$^I]$   
 $Wenn$   
 $((F.Umw.Geb.\$OID^T\$ \# PersonenBetroffenePersonen^I \neq leer) \&$   
 $(F.Umw.Geb.\$OID^T\$ \# PersonenBetroffenePersonenAbgeleitet^B = falsch))$   
 $Dann[Pers.Geb.\$OID^T\$^I = F.Umw.Geb.\$OID^T\$ \# PersonenBetroffenePersonen^I;$   
 $Abgeleitet^B = falsch]$   
 $Ergebnis\{SetReg : F.Umw.Geb.\$OID^T\$ \# PersonenBetroffenePersonen^I = Pers.Geb.\$OID^T\$^I;$   
 $SetReg : F.Umw.Geb.\$OID^T\$ \# PersonenBetroffenePersonenAbgeleitet^B = wahr\}$

## Personen im Gebäude

$R.Umw.Geb \# PersonenImGeb^R \{OID^T, ZEIT^T\}^{L(*)}$   
 $Default\{Faktor^F = 1\}$   
 $\sim$  Prüfe ob Fakten zu den anwesenden Personen im Gebäude vorliegen  
 $Wenn(\%EXIST\{A.Umw.Gebäude.\$OID^T\$.Betroffene\$ZEIT^T\$^I\}^B)$   
 $Dann[Prog.Betr.Geb.\$OID^T\$^I = A.Umw.Gebäude.\$OID^T\$.Betroffene\$ZEIT^T\$^I]$

~ Schätze Anzahl der anwesenden Personen ab

Sonst[

Wenn((A.Umw.Gebäude.\$OID<sup>T</sup>\$#Gebäudeklasse = RES1)|..|(A.Umw.Gebäude.\$OID<sup>T</sup>\$#Gebäudeklasse = RES3)|(A.Umw.Gebäude.\$OID<sup>T</sup>\$#Gebäudeklasse = RES5)|

(A.Umw.Gebäude.\$OID<sup>T</sup>\$#Gebäudeklasse = RES6))

Dann[Faktor<sup>F</sup> = P.Geb#FWohngeb\$ZEIT<sup>T</sup>\$<sup>F</sup>]

Wenn((A.Umw.Gebäude.\$OID<sup>T</sup>\$#Gebäudeklasse = COM1)|..|(A.Umw.Gebäude.\$OID<sup>T</sup>\$#Gebäudeklasse = COM10))

Dann[Faktor<sup>F</sup> = P.Umw.Geb#FKommerz\$ZEIT<sup>T</sup>\$<sup>F</sup>]

Wenn((A.Umw.Gebäude.\$OID<sup>T</sup>\$#Gebäudeklasse = IND1)|..|(A.Umw.Gebäude.\$OID<sup>T</sup>\$#Gebäudeklasse = IND6))

Dann[Faktor<sup>F</sup> = P.Umw.Geb#FIndustrie\$ZEIT<sup>T</sup>\$<sup>F</sup>]

Wenn(A.Umw.Gebäude.\$OID<sup>T</sup>\$#Gebäudeklasse = EDU1)

Dann[Faktor<sup>F</sup> = P.Umw.Geb#FSchule\$ZEIT<sup>T</sup>\$<sup>F</sup>]

Wenn(A.Umw.Gebäude.\$OID<sup>T</sup>\$#Gebäudeklasse = EDU2)

Dann[Faktor<sup>F</sup> = P.Umw.Geb#FUni\$ZEIT<sup>T</sup>\$<sup>F</sup>]

Wenn(A.Umw.Gebäude.\$OID<sup>T</sup>\$#Gebäudeklasse = RES4)

Dann[Faktor<sup>F</sup> = P.Umw.Geb#FHotel\$ZEIT<sup>T</sup>\$<sup>F</sup>]

]

Ergebnis{Prog.Betr.Geb.\$OID<sup>T</sup>\$<sup>I</sup> = A.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>\$#Personen<sup>I</sup> \* Faktor<sup>F</sup>}

### A.6.3. Gebäudeschäden

#### Glaubwürdigster Zustand

R.Umw.Geb#StrukturschadenGlaubwürdigster<sup>R</sup>{OID<sup>T</sup>}<sup>L(\*)</sup>

Default{Schadensklasse<sup>I</sup> = 0; Glaubwürdigkeit<sup>F</sup> = -1; Zeitpunkt<sup>I</sup> = -1;

Abgeleitet<sup>B</sup> = falsch}

Wenn(F.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>\$#StrukturschadenDS0Glaubwürdigkeit<sup>F</sup> > Glaubwürdigkeit<sup>F</sup>)

Dann[Schadensklasse<sup>I</sup> = 0; Glaubwürdigkeit<sup>F</sup> = F.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>\$#

StrukturschadenDS0Glaubwürdigkeit<sup>F</sup>;

Zeitpunkt<sup>I</sup> = F.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>\$#StrukturschadenDS0Zeitpunkt<sup>I</sup>

Abgeleitet<sup>B</sup> = F.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>\$#StrukturschadenDS0Abgeleitet<sup>B</sup>]

Wenn(F.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>\$#StrukturschadenDS1Glaubwürdigkeit<sup>F</sup> > Glaubwürdigkeit<sup>F</sup>)

Dann[Schadensklasse<sup>I</sup> = 1; Glaubwürdigkeit<sup>F</sup> = F.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>\$#

StrukturschadenDS1Glaubwürdigkeit<sup>F</sup>;

$Zeitpunkt^I = F.Umw.Geb.\$OID^T\$\#StrukturschadenDS1Zeitpunkt^I$   
 $Abgeleitet^B = F.Umw.Geb.\$OID^T\$\#StrukturschadenDS1Abgeleitet^B]$   
 ...  
 Wenn( $F.Umw.Geb.\$OID^T\$\#Strukturschaden!DS5Glaubwürdigkeit^F > Glaubwürdigkeit^F$ )  
 Dann[ $Schadensklasse^I = 7; Glaubwürdigkeit^F = F.Umw.Geb.\$OID^T\$\#$   
 $StrukturschadenDS5Glaubwürdigkeit^F;$   
 $Zeitpunkt^I = F.Umw.Geb.\$OID^T\$\#StrukturschadenDS5Zeitpunkt^I$   
 $Abgeleitet^B = F.Umw.Geb.\$OID^T\$\#StrukturschadenDS5Abgeleitet^B]$   
 Ergebnis{}

### Gefährdung durch Gefahrstoff

$R.Umw.Geb\#Gefahrstoffgefährdung^R\{OID^T, Form, Auswirkung\}^{L(*)}$   
 Default  
 $\{Risikofaktor^I = 0; Glaubwürdigkeit^F = leer;$   
 $GlaubwürdigkeitStruktur^F =$   
 $R.Umw.Geb\#StrukturschadenGlaubwürdigster^R\{OID^T\}\#Glaubwürdigkeit^F;$   
 $GlaubwürdigkeitFeuer^F =$   
 $R.Umw.Geb\#FeuerschadenGlaubwürdigster^R\{OID^T\}\#Glaubwürdigkeit^F;$   
 $Schadensklasse^I = 0; Sicherungsklasse^I =$   
 $A.Umw.Geb.\$OID^T\$\#\$Form\!\$Auswirkung\$Sicherung^I\}$   
 $\sim$  Bestimme glaubwürdigsten Schaden  
 Wenn( $GlaubwürdigkeitFeuer^F > GlaubwürdigkeitStruktur^F$ )  
 Dann[ $Glaubwürdigkeit^F = GlaubwürdigkeitFeuer^F;$   
 $Schadensklasse^I = R.Umw.Geb\#FeuerschadenGlaubwürdigster^R\{OID^T\}\#Schadensklasse^I$   
 $Zeitpunkt^I = R.Umw.Geb\#FeuerschadenGlaubwürdigster^R\{OID^T\}\#Zeitpunkt^I;$   
 $Abgeleitet^B = R.Umw.Geb\#FeuerschadenGlaubwürdigster^R\{OID^T\}\#Abgeleitet^B]$   
 Wenn( $GlaubwürdigkeitFeuer^F \leq GlaubwürdigkeitStruktur^F$ )  
 Dann[ $Glaubwürdigkeit^F = GlaubwürdigkeitStruktur^F;$   
 $Schadensklasse^I = R.Umw.Geb\#StrukturschadenGlaubwürdigster^R\{OID^T\}\#$   
 $Schadensklasse^I$   
 $Zeitpunkt^I = R.Umw.Geb\#StrukturschadenGlaubwürdigster^R\{OID^T\}\#Zeitpunkt^I;$   
 $Abgeleitet^B = R.Umw.Geb\#StrukturschadenGlaubwürdigster^R\{OID^T\}\#Abgeleitet^B]$   
 $\sim$  Risiko aufgrund des glaubwürdigsten Schadens  
 Wenn( $Schadensklasse^I \leq 1$ )  
 Dann[ $Risikofaktor^I = 0]$   
 Wenn( $(Schadensklasse^I = 2)\&(Sicherungsklasse^I > 3)$ )  
 Dann[ $Risikofaktor^I = A.Umw.Geb.\$OID^T\$\#\$Form\!\$Auswirkung\$Potenzial^I]$

*Wenn*((Schadensklasse<sup>I</sup> = 3)&(Sicherungsklasse<sup>I</sup> > 2))  
*Dann*[Risikofaktor<sup>I</sup> = A.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>##\$Form\$!\$Auswirkung\$Potenzial<sup>I</sup>]  
*Wenn*((Schadensklasse<sup>I</sup> ≥ 4)&(Sicherungsklasse<sup>I</sup> > 1))  
*Dann*[Risikofaktor<sup>I</sup> = A.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>##\$Form\$!\$Auswirkung\$Potenzial<sup>I</sup>]  
 ~ War vorhandene Beurteilung Glaubwürdiger  
*Wenn*(Glaubwürdigkeit<sup>F</sup> <  
 F.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>##\$Form\$!\$Auswirkung\$Glaubwürdigkeit<sup>F</sup>)  
*Dann*  
 [Risikofaktor<sup>I</sup> = F.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>##\$Form\$!\$Auswirkung\$Gefährdung<sup>I</sup>;  
 Glaubwürdigkeit<sup>F</sup> = F.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>##\$Form\$!\$Auswirkung\$Glaubwürdigkeit<sup>F</sup>;  
 Zeitpunkt<sup>I</sup> = F.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>##\$Form\$!\$Auswirkung\$Zeitpunkt<sup>I</sup>;  
 Abgeleitet<sup>B</sup> = F.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>##\$Form\$!\$Auswirkung\$Abgeleitet<sup>B</sup>]  
*Ergebnis*{  
 SetReg : F.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>##\$Form\$!\$Auswirkung\$Gefährdung<sup>I</sup> = Risikofaktor<sup>I</sup>;  
 SetReg : F.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>##\$Form\$!\$Auswirkung\$Glaubwürdigkeit<sup>F</sup> =  
 Glaubwürdigkeit<sup>F</sup>;  
 SetReg : F.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>##\$Form\$!\$Auswirkung\$Zeitpunkt<sup>I</sup> = Zeitpunkt<sup>I</sup>;  
 SetReg : F.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>##\$Form\$!\$Auswirkung\$Abgeleitet<sup>B</sup> = Abgeleitet<sup>B</sup>}

## Risiko für den Ausbruch eines Feuers

*R.Umw.Geb*##FeuerschadenGefahrenfaktor<sup>R</sup>{OID<sup>T</sup>}<sup>L(\*)</sup>  
*Default*{Gefahrenfaktor<sup>I</sup> = 0, Schadensfaktor<sup>I</sup> = 0}  
*Wenn*(F.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>##FeuerschadenBrandgefahr<sup>I</sup> = 1)  
*Dann*[Gefahrenfaktor<sup>I</sup> = 10]  
*Wenn*(F.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>##FeuerschadenBrandgefahr<sup>I</sup> = 2)  
*Dann*[Gefahrenfaktor<sup>I</sup> = 8]  
*Wenn*(F.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>##FeuerschadenBrandgefahr<sup>I</sup> = 3)  
*Dann*[Gefahrenfaktor<sup>I</sup> = 5]  
*Wenn*(F.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>##FeuerschadenBrandgefahr<sup>I</sup> = 4)  
*Dann*[Gefahrenfaktor<sup>I</sup> = 3]  
*Wenn*(R.Umw.Geb##StrukturschadenGlaubwürdigster<sup>R</sup>{OID<sup>T</sup>}##Schadensklasse<sup>I</sup> = 0)  
*Dann*[Schadensfaktor<sup>I</sup> = 0]  
*Wenn*(R.Umw.Geb##StrukturschadenGlaubwürdigster<sup>R</sup>{OID<sup>T</sup>}##Schadensklasse<sup>I</sup> = 1)  
*Dann*[Schadensfaktor<sup>I</sup> = 2]  
*Wenn*(R.Umw.Geb##StrukturschadenGlaubwürdigster<sup>R</sup>{OID<sup>T</sup>}##Schadensklasse<sup>I</sup> = 2)  
*Dann*[Schadensfaktor<sup>I</sup> = 4]

*Wenn*(*R.Umw.Geb#StrukturschadenGlaubwürdigster*<sup>R</sup>{*OID*<sup>T</sup>}#*Schadensklasse*<sup>I</sup> = 3)  
*Dann*[*Schadensfaktor*<sup>I</sup> = 6]  
*Wenn*((*R.Umw.Geb#StrukturschadenGlaubwürdigster*<sup>R</sup>{*OID*<sup>T</sup>}#*Schadensklasse*<sup>I</sup> ≥ 4)&  
(*R.Umw.Geb#StrukturschadenGlaubwürdigster*<sup>R</sup>{*OID*<sup>T</sup>}#*Schadensklasse*<sup>I</sup> < 6))  
*Dann*[*Schadensfaktor*<sup>I</sup> = 8]  
*Wenn*(*R.Umw.Geb#StrukturschadenGlaubwürdigster*<sup>R</sup>{*OID*<sup>T</sup>}#*Schadensklasse*<sup>I</sup> ≥ 6)  
*Dann*[*Schadensfaktor*<sup>I</sup> = 10]  
*Ergebnis*{*SetReg* : *E.Umw.Geb.\$OID*<sup>T</sup>##*FeuerschadenBrandgefahr*<sup>I</sup> = *Gefahrenfaktor*<sup>I</sup>\*  
*Schadensfaktor*<sup>I</sup>;  
*SetReg* : *E.Umw.Geb.\$OID*<sup>T</sup>##*FeuerschadenBrandgefahrGlaubwürdigkeit*<sup>F</sup> =  
*R.Umw.Geb#StrukturschadenGlaubwürdigster*<sup>R</sup>{*OID*<sup>T</sup>}#*Glaubwürdigkeit*<sup>F</sup>;  
*SetReg* : *E.Umw.Geb.\$OID*<sup>T</sup>##*FeuerschadenBrandgefahrZeitpunkt*<sup>I</sup> =  
*R.Umw.Geb#StrukturschadenGlaubwürdigster*<sup>R</sup>{*OID*<sup>T</sup>}#*Zeitpunkt*<sup>I</sup>  
*SetReg* : *E.Umw.Geb.\$OID*<sup>T</sup>##*FeuerschadenBrandgefahrZeitpunkt*<sup>I</sup> =  
*R.Umw.Geb#StrukturschadenGlaubwürdigster*<sup>R</sup>{*OID*<sup>T</sup>}#*Abgeleitet*<sup>B</sup>}

## A.6.4. Routenberechnung

### Kantenberechnung

*R.Umw.Straßen#Kantenberechnung*<sup>R</sup>{*OID*<sup>T</sup>, *AID*<sup>T</sup>, *RID*<sup>T</sup>, *CLASS*<sup>T</sup>}<sup>L(\*)</sup><sup>4</sup>  
*Default*{*ErgebnisFaktor*<sup>F</sup> = 1.0; *Hinweis*<sup>T</sup> = ''}  
~ *Ist die Kante erkundet, blockiert oder zu meiden*  
*Wenn*(*F.Umw.Str.Kan.\$OID*<sup>T</sup>##*erkundet* = falsch)  
*Dann*[*ErgebnisFaktor*<sup>F</sup> = *ErgebnisFaktor*<sup>F</sup> +  
*P.Umw.Str.\$AID*<sup>T</sup>##*MNichtErkundet*<sup>F</sup>]  
*Wenn*(*F.Umw.Str.Kan.\$OID*<sup>T</sup>##*Schaden*<sup>I</sup> = 1)  
*Dann*[*Ergebnis#Faktor*<sup>F</sup> = *Ergebnis#Faktor*<sup>F</sup> +  
*P.Umw.Str.\$AID*<sup>T</sup>##*MBlockiert*<sup>F</sup>;  
*Hinweis*<sup>T</sup> = *Hinweis*<sup>T</sup> + *P.Umw.Str.\$AID*<sup>T</sup>##*HinweisKanteBlockiert*<sup>C</sup>{*OID*<sup>T</sup>}<sup>T</sup>]  
*Wenn*((*EXIST*{*F.Umw.Str.MeideKante.\$AID*<sup>T</sup>##*\$OID*<sup>T</sup><sup>B</sup>}&  
(*F.Umw.Str.MeideKante.\$AID*<sup>T</sup>##*\$OID*<sup>T</sup><sup>B</sup> = wahr))  
*Dann*[*ErgebnisFaktor*<sup>F</sup> = *ErgebnisFaktor*<sup>F</sup> +  
*P.Umw.Str.\$AID*<sup>T</sup>##*MMeideKante*<sup>F</sup>;  
*Hinweis*<sup>T</sup> = *Hinweis*<sup>T</sup> + *P.Umw.Str.\$AID*<sup>T</sup>##*HinweisKanteMeiden*<sup>C</sup>{*OID*<sup>T</sup>}<sup>T</sup>]

<sup>4</sup>Die referenzierte Regel *C.Res.Ausstattung#Fähigkeiten*<sup>C</sup>{*CLASS*<sup>T</sup>, *RID*<sup>T</sup>}<sup>L(\*)</sup> wird in Unterunterabschnitt 7.1.2.1 erläutert.

*~ Kann die Ressource die Kante befahren*

*Wenn(A.Umw.Str.Kan.\$OID^T\$#Breite < C.Res.Ausstattung#  
Fähigkeiten<sup>C</sup>{CLASS<sup>T</sup>,RID<sup>T</sup>}L(\*)#Breite)*

*Dann[Ergebnis#Faktor<sup>F</sup> = Ergebnis#Faktor<sup>F</sup> +  
(P.Umw.Str.\$AID^T\$#MBreite<sup>F</sup> \* (C.Res.Ausstattung#  
Fähigkeiten<sup>C</sup>{CLASS<sup>T</sup>,RID<sup>T</sup>}L(\*)#Breite - A.Umw.Str.Kan.\$OID^T\$#Breite));  
Hinweis<sup>T</sup> = Hinweis<sup>T</sup> + P.Umw.Str.\$AID^T\$#HinweisKanteSchmal<sup>C</sup>{OID<sup>T</sup>}<sup>T</sup>]*

*Wenn(A.Umw.Str.Kan.\$OID^T\$#Höhe < C.Res.Ausstattung#  
Fähigkeiten<sup>C</sup>{CLASS<sup>T</sup>,RID<sup>T</sup>}L(\*)#Höhe)*

*Dann[ErgebnisFaktor<sup>F</sup> = ErgebnisFaktor<sup>F</sup> +  
(P.Umw.Str.\$AID^T\$#MHöhe<sup>F</sup> \* (C.Res.Ausstattung#  
Fähigkeiten<sup>C</sup>{CLASS<sup>T</sup>,RID<sup>T</sup>}L(\*)#Höhe - A.Umw.Str.Kan.\$OID^T\$#Höhe));  
Hinweis<sup>T</sup> = Hinweis<sup>T</sup> + P.Umw.Str.\$AID^T\$#HinweisKanteNiedrig<sup>C</sup>{OID<sup>T</sup>}<sup>T</sup>]*

*Wenn(A.Umw.Str.Kan.\$OID^T\$#Gewicht < C.Res.Ausstattung#  
Fähigkeiten<sup>C</sup>{CLASS<sup>T</sup>,RID<sup>T</sup>}L(\*)#Gewicht)*

*Dann[ErgebnisFaktor<sup>F</sup> = ErgebnisFaktor<sup>F</sup> + P.Umw.Str.\$AID^T\$#  
MGewicht<sup>F</sup> \* (C.Res.Ausstattung#Fähigkeiten<sup>C</sup>{CLASS<sup>T</sup>,RID<sup>T</sup>}#  
Gewicht - A.Umw.Str.Kan.\$OID^T\$#Gewicht));  
Hinweis<sup>T</sup> = Hinweis<sup>T</sup> + P.Umw.Str.\$AID^T\$#HinweisKanteGewicht<sup>C</sup>{OID<sup>T</sup>}<sup>T</sup>]*

*Ergebnis{Entfernung<sup>F</sup> = A.Umw.Str.Kan.\$OID^T\$#Länge<sup>F</sup>;*

*Weg<sup>F</sup> = A.Umw.Str.Kan.\$OID^T\$#Länge \* ErgebnisFaktor<sup>F</sup>}*

## A.6.5. Ressourcenverwaltung

### Bestimme die Fähigkeiten von Ressourcen

*C.Res.Bestimme#TypAttribute<sup>C</sup>{RID<sup>T</sup>}L(\*) = %REF{A.Res.Mob.  
\$CLASS<sup>T</sup>\$.RID<sup>T</sup>\$#TypBezeichner<sup>T</sup>}*

*C.Res.Ausstattung#Fähigkeiten<sup>C</sup>{CLASS<sup>T</sup>,RID<sup>T</sup>}L(\*) = A.Res.Mob.\$CLASS<sup>T</sup>\$.  
RID<sup>T</sup>\$L(\*) + C.Res.Bestimme#TypAttribute<sup>C</sup>{RID<sup>T</sup>}L(\*)*

### Klassifiziere die Fähigkeiten von Ressourcen

*R.Res.Ausstattung#Klassifiziere<sup>R</sup>{AN<sup>T</sup>,CLASS<sup>T</sup>,RID<sup>T</sup>}L(\*)*

*Default{IstPrimär\$CLASS<sup>T</sup>\$.RID<sup>T</sup>\$<sup>B</sup> = falsch;*

*IstSekundär\$CLASS<sup>T</sup>\$.RID<sup>T</sup>\$<sup>B</sup> = falsch;*

*Ausprägung\$CLASS<sup>T</sup>\$.RID<sup>T</sup>\$ = leer}*

$Wenn(EXIST\{C.Res.Ausstattung\#Fähigkeiten^C\{CLASS^T, RID^T\}^{L(*)}, \$AN^T\$ \} \&$   
 $EXIST\{P.Res.MinPrimärAusstattung.\$AID^T\$, \$AN^T\})$   
 $Dann[Ausprägung\$CLASS^T\$. \$RID^T\$ =$   
 $C.Res.Ausstattung\#Fähigkeiten^C\{CLASS^T, RID^T\}\#\$AN^T\$;$   
 $Wenn(Ausprägung\$CLASS^T\$. \$RID^T\$ \geq$   
 $P.Res.MinPrimärAusstattung.\$AID^T\#\$AN^T\)$   
 $Dann[IstPrimär\$CLASS^T\$. \$RID^T\$\$^B = wahr]$   
 $Wenn(Ausprägung\$CLASS^T\$. \$RID^T\$ <$   
 $P.Res.MinPrimärAusstattung.\$AID^T\#\$AN^T\)$   
 $Dann[IstSekundär\$CLASS^T\$. \$RID^T\$\$^B = wahr]$   
 $]$   
 $Ergebnis\{\}$

## A.6.6. Risikobewertung

### Risiko für Einsatzkräfte aufgrund von Strahlung

$R.Umw.Gebäude\#RisikobewertungPersonnel!Radiation^R\{OID^T, AID^T, EF^{L(*)}\}^{L(*)}$   
 $Default\{Personnel!RadiationRisiko^I = 5; Personnel!RadiationHinweis = leer;$   
 $RadioaktiveGefährdung^I =$   
 $\%MAX\{EF.\$OID^T\#\$Gasförmig!RadioaktivGefährdung^I, EF.\$OID^T\#\$Flüssig!$   
 $RadioaktivGefährdung^I, EF.\$OID^T\#\$Fest!RadioaktivGefährdung^I\}^F$   
 $PersonnelStrahlenschutz^I = \%ANZAHL\{Ext.Umw.Geb.\$OID\$.Strahlenschutz\}^I;$   
 $PersonnelSumme^I = \%ANZAHL\{Ext.Einsatzstellen\#Umw.Geb.\$OID^T\}\$^I$   
 $\sim$  Risiko falls nur geschütztes Personal vor Ort  
 $Wenn((PersonnelStrahlenschutz^I > 0) \&$   
 $(PersonnelSumme^I - PersonnelStrahlenschutz^I \leq 0))$   
 $Dann[$   
 $Wenn(RadioaktiveGefährdung^I = 1)$   
 $Dann[Personnel!RadiationRisiko^I = 3;$   
 $Personnel!RadiationHinweis^T = P.Umw.Geb.\$AID^T\#\$Personnel!$   
 $RadiationHinweisLowGeschützt^T]$   
 $Wenn(RadioaktiveGefährdung^I = 2)$   
 $Dann[Personnel!RadiationRisiko^I = 2;$   
 $Personnel!RadiationHinweis^T = P.Umw.Geb.\$AID^T\#\$Personnel!$   
 $RadiationHinweisMediumGeschützt^T]$   
 $Wenn(RadioaktiveGefährdung^I = 3)$   
 $Dann[Personnel!RadiationRisiko^I = 1;$

$Personnell!RadiationHinweis^T = P.Umw.Geb.\$AID^T\$ \# Personnell!$   
 $RadiationHinweisHighGeschützt^T]$   
 ]  
 ~ Risiko falls auch ungeschütztes Personal vor Ort  
 Wenn( $(PersonnellStrahlenschutz^I > 0)$  &  
 $(PersonnellSumme^I - PersonnellStrahlenschutz^I > 0)$ )  
 Dann $[Personnell!RadiationRisiko^I = 4;$   
 $Personnell!RadiationHinweis = P.Umw.Geb.\$AID^T\$ \# Personnell!$   
 $RadiationHinweisUnknownGemischt^T]$   
 Wenn( $(Ext.Umw.Geb.\$OID\$.Strahlenschutz = 0)$  &  
 $(Ext.Einsatzstellen\#Umw.Geb.\$OID^T\$ > 0)$ )  
 Dann $[Personnell!RadiationRisiko^I = 1;$   
 $Personnell!RadiationHinweis^T = P.Umw.Geb.\$AID^T\$ \# Personnell!$   
 $RadiationHinweisHighOhneSchutz^T]$   
 Ergebnis $\{SetReg : E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\$ \# Personnell!Radiation^I =$   
 $Personnell!RadiationRisiko^I;$   
 $SetReg : E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\$ \# Personnell!RadiationHinweis^T =$   
 $Personnell!RadiationHinweis^T;$   
 $SetReg : E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\$ \# Personnell!RadiationGlaubwürdigkeit^F =$   
 $EF.\$OID^T\$ \# Fest/Flüssig/Gasförmig!RadioaktivGlaubwürdigkeit^F;$   
 $SetReg : E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\$ \# Personnell!RadiationAbgeleitet^B =$   
 $EF.\$OID^T\$ \# Fest/Flüssig/Gasförmig!RadioaktivAbgeleitet^B\}$

### Risiko aufgrund der Ausbreitung eines Brandes

Teile der folgenden Regel werden verkürzt in Tabellenform (siehe Tabelle A.4) dargestellt.

$R.Umw.Gebäude\#RisikobewertungVar!FirePropagation^R\{OID_{Brennt}^T, OID_{Risiko}^T,$   
 $Instanz, AID^T, EF^{L(*)}\}^{L(*)}$   
 $Default\{\$Instanz\!FeuerAusbreitungRisiko^I = 5;$   
 $\$Instanz\!FeuerAusbreitungHinweis^T =''\}$   
 $Wenn(E.Umw.Geb.\$OID_{Brennt}^T\$.\$AID^T\$ \# FeuerAusbreitung\#\$OID_{Risiko}^T\$ = 3)$   
 $Dann[$   
 $Wenn(E.Umw.Geb.OID_{Risiko}^T\$.\$AID^T\$ \# \$Instanz\!Gefahrenklasse^I = 3)$   
 $Dann[\$Instanz\!FirePropagationRisiko^I = 3;$   
 $\$Instanz\!FirePropagationHinweis^T =$   
 $P.Umw.Geb.\$AID^T\$ \# \$Instanz\!FirePropHinweisLow1^T]$

$Wenn(E.Umw.Geb.OID_{Risiko}^T.\$AID^T\#\$Instanz\$Gefahrenklasse^I = 2)$   
 $Dann[\$Instanz\$!FirePropagationRisiko^I = 3;$   
 $\$Instanz\$!FirePropagationHinweis^T =$   
 $P.Umw.Geb.\$AID^T\#\$Instanz\$!FirePropHinweisLow2^T]$

...

	Ausbreitungsrisiko					
		none	unknown	low	medium	high
Risikoklasse	low	<i>none</i>	<i>unknown</i>	<i>low</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>
	medium	<i>none</i>	<i>unknown</i>	<i>low</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>
	high	<i>none</i>	<i>unknown</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	<i>high</i>

**Tabelle A.4.:** Beurteilung des Ausbreitungsrisikos

...

*Ergebnis*{}

### Risiko für Personen aufgrund eines Gebäudeeinsturzes

$R.Umw.Gebäude\#RisikobewertungPersons!Collapse^R\{OID^T, AID^T, EF^{L(*)}\}^{L(*)}$   
 $Default\{Persons!CollapseRisiko^I = 5; Persons!CollapseHinweis^T = '';$   
 $Schadensklasse^I = R.Umw.Geb\#EinsturzschadenGlaubwürdigster^R\{OID^T\}\#Schadensklasse^I;$   
 $Glaubwürdigkeit^F = R.Umw.Geb\#EinsturzschadenGlaubwürdigster^R\{OID^T\}\#$   
 $Glaubwürdigkeit^F;$   
 $Abgeleitet^B = R.Umw.Geb\#EinsturzschadenGlaubwürdigster^R\{OID^T\}\#Abgeleitet^B;$   
 $Verschüttetet^I = C.Umw.Geb.Bestimme\#Verschüttete^R\{OID^T, Schadensklasse^I\}^I;$   
 $GlaubwürdigkeitKlasse^I = R.Umw\#KlassifiziereGlaubwürdigkeit^R\{Glaubwürdigkeit^F\}\#$   
 $Klassifikation;$   
 $GlaubwürdigkeitSimulation^B = R.Umw\#KlassifiziereGlaubwürdigkeit^R$   
 $\{Glaubwürdigkeit^F\}\#IstSimulation\}$   
 $\sim$  Prüfe ob ein glaubwürdiges Indiz für einen Einsturz vorliegt (Klasse  $\leq$  low)  
 $Wenn(GlaubwürdigkeitKlasse^I \leq 3)$   
 $Dann[$   
 $\sim$  Bestimme Anzahl der potenziell verschütteten  
 $Wenn((Verschüttetet^I = 0)$   
 $Dann[Persons!CollapseRisiko^I = 5; Persons!CollapseHinweis^T = P.Umw.Geb.\$AID^T\#\#$   
 $HinweisVerschüttetenanzahlNone^C\{OID^T\}^T]$

$Wenn((Verschüttetet^I > 0) \& (Verschüttetet^I < P.Umw.Geb.\$AID^T\$ \#$   
 $VerschüttetenzahlLow^I))$   
 $Dann[Persons!CollapseRisiko^I = 3;$   
 $Persons!CollapseHinweis^T =$   
 $P.Umw.Geb.\$AID^T\$ \#HinweisVerschüttetenzahlLow^C \{OID^T, Anzahl^I\}^T]$   
 $Wenn((Verschüttetet^I \geq P.Umw.Geb.\$AID^T\$ \#VerschüttetenzahlLow) \&$   
 $(Verschüttetet^I < P.Umw.Geb.\$AID^T\$ \#VerschüttetenzahlMedium))$   
 $Dann[Persons!CollapseRisiko^I = 2;$   
 $Persons!CollapseHinweis^T =$   
 $P.Umw.Geb.\$AID^T\$ \#HinweisVerschüttetenzahlMedium^C \{OID^T, Anzahl^I\}^T]$   
 $Wenn((Verschüttetet^I \geq P.Umw.Geb.\$AID^T\$ \#VerschüttetenzahlMedium))$   
 $Dann[Persons!CollapseRisiko^I = 1;$   
 $Persons!CollapseHinweis^T =$   
 $P.Umw.Geb.\$AID^T\$ \#HinweisVerschüttetenzahlHigh^C \{OID^T, Anzahl^I\}^T]$   
 $\sim$  Bewerte Glaubwürdigkeit  
 $Wenn(GlaubwürdigkeitKlasse^I = 1)$   
 $Dann[Persons!CollapseHinweis^T = Persons!CollapseHinweis^I +$   
 $P.Umw.Geb.\$AID^T\$ \#HinweisEinsturzGlaubwHigh^C \{OID^T, Anzahl^I\}^T]$   
 $Wenn((GlaubwürdigkeitKlasse^I = 2)$   
 $Dann[Persons!CollapseRisiko^I = Persons!CollapseRisiko^I + 1;$   
 $Persons!CollapseHinweis^T = Persons!CollapseHinweis^I +$   
 $P.Umw.Geb.\$AID^T\$ \#HinweisEinsturzGlaubwMedium];$   
 $Wenn((GlaubwürdigkeitKlasse^I = 3)$   
 $Dann[Persons!CollapseRisiko^I = Persons!CollapseRisiko^I + 1;$   
 $Persons!CollapseHinweis^T = Persons!CollapseHinweis^I +$   
 $P.Umw.Geb.\$AID^T\$ \#HinweisEinsturzGlaubwLow];$   
 $Wenn(GlaubwürdigkeitSimulation^B = wahr)$   
 $Dann[Persons!CollapseHinweis^T = Persons!CollapseHinweis^I +$   
 $P.Umw.\$AID^T\$ \#HinweisEinsturzIstSimulation^T;$   
 $Abgeleitet^B = wahr]$   
 $]$   
 $Ergebnis\{SetReg : E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\$ \#Persons!Collapse^I =$   
 $Persons!CollapseRisiko^I;$   
 $SetReg : E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\$ \#Persons!CollapseHinweis^T =$   
 $Persons!CollapseHinweis^T;$   
 $SetReg : E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\$ \#Persons!CollapseGlaubwürdigkeit^F =$   
 $Glaubwürdigkeit^F;$   
 $SetReg : E.Umw.Geb.\$OID^T\$.\$AID^T\$ \#Persons!CollapseAbgeleitet^B = Abgeleitet^B\}$

## Glaubwürdigster Einsturzschaden eines Gebäudes

$R.Umw.Geb\#EinsturzschadenGlaubwürdigster^R\{OID^T\}^{L(*)}$   
 $Default\{Schadensklasse^I = leer; Glaubwürdigkeit^F = leer;$   
 $Abgeleitet^B = leer\}$   
 $Wenn((F.Umw.Geb.\$OID^T\#\$Strukturschaden.DS5Glaubwürdigkeit^F \geq$   
 $F.Umw.Geb.\$OID^T\#\$Strukturschaden.DS4bGlaubwürdigkeit^F)\&$   
 $(F.Umw.Geb.\$OID^T\#\$Strukturschaden.DS5Glaubwürdigkeit^F \geq$   
 $F.Umw.Geb.\$OID^T\#\$Strukturschaden.DS4aGlaubwürdigkeit^F))$   
 $Dann[Schadensklasse^I = 7; Glaubwürdigkeit^F =$   
 $F.Umw.Geb.\$OID^T\#\$Strukturschaden.DS5Glaubwürdigkeit^F;$   
 $Abgeleitet^B = F.Umw.Geb.\$OID^T\#\$Strukturschaden.DS5Abgeleitet^B]$   
 $Wenn((F.Umw.Geb.\$OID^T\#\$Strukturschaden.DS4bGlaubwürdigkeit^F >$   
 $F.Umw.Geb.\$OID^T\#\$Strukturschaden.DS5Glaubwürdigkeit^F)\&$   
 $(F.Umw.Geb.\$OID^T\#\$Strukturschaden.DS4bGlaubwürdigkeit^F \geq$   
 $F.Umw.Geb.\$OID^T\#\$Strukturschaden.DS4aGlaubwürdigkeit^F))$   
 $Dann[Schadensklasse^I = 6; Glaubwürdigkeit^F =$   
 $F.Umw.Geb.\$OID^T\#\$Strukturschaden.DS4bGlaubwürdigkeit^F;$   
 $Abgeleitet^B = F.Umw.Geb.\$OID^T\#\$Strukturschaden.DS4bAbgeleitet^B]$   
 $Wenn((F.Umw.Geb.\$OID^T\#\$Strukturschaden.DS4aGlaubwürdigkeit^F >$   
 $F.Umw.Geb.\$OID^T\#\$Strukturschaden.DS5Glaubwürdigkeit^F)\&$   
 $(F.Umw.Geb.\$OID^T\#\$Strukturschaden.DS4aGlaubwürdigkeit^F >$   
 $F.Umw.Geb.\$OID^T\#\$Strukturschaden.DS4bGlaubwürdigkeit^F))$   
 $Dann[Schadensklasse^I = 5; Glaubwürdigkeit^F =$   
 $F.Umw.Geb.\$OID^T\#\$Strukturschaden.DS4aGlaubwürdigkeit^F;$   
 $Abgeleitet^B = F.Umw.Geb.\$OID^T\#\$Strukturschaden.DS4aAbgeleitet^B]$   
 $Ergebnis\{\}$

## Klassifikation der Glaubwürdigkeit

$R.Umw\#KlassifiziereGlaubwürdigkeit^R\{Glaubwürdigkeit^F\}^{L(*)}$   
 $Default\{Klassifikation^I = 5; IstSimulation^B = falsch\}$   
 $Wenn(Glaubwürdigkeit^F > 70)$   
 $Dann[Klassifikation^I = 1]$   
 $Wenn((Glaubwürdigkeit^F < 70)\&(Glaubwürdigkeit^F \geq 30))$   
 $Dann[Klassifikation^I = 2]$   
 $Wenn(Glaubwürdigkeit^F < 30)$   
 $Dann[Klassifikation^I = 3]$

*Wenn*(*Glaubwürdigkeit*<sup>F</sup> = -75)  
*Dann*[*Klassifikation*<sup>I</sup> = 1; *IstSimulation*<sup>B</sup> = *wahr*]  
*Wenn*(*Glaubwürdigkeit*<sup>F</sup> = -50)  
*Dann*[*Klassifikation*<sup>I</sup> = 2; *IstSimulation*<sup>B</sup> = *wahr*]  
*Wenn*(*Glaubwürdigkeit*<sup>F</sup> = -25)  
*Dann*[*Klassifikation*<sup>I</sup> = 3; *IstSimulation*<sup>B</sup> = *wahr*]  
*Wenn*((*Glaubwürdigkeit*<sup>F</sup> < 5)&(*Glaubwürdigkeit*<sup>F</sup> ≥ 0))  
*Dann*[*Klassifikation*<sup>I</sup> = 5]  
*Ergebnis*{ }

### Gefahrenübergang durch Brände

*R.Umw.Gebäude*#*GefahrenübergangFire*{*OID*<sup>T</sup>, *AID*<sup>T</sup>, *EF*<sup>L(\*)</sup>}<sup>L(\*)</sup>  
*Default*{*Feuerstärke*<sup>I</sup> = *EF*.\$*OID*<sup>T</sup>##*FeuerstärkeSchadensklasse*<sup>I</sup>;  
*StärkeGlaubwürdigkeit*<sup>F</sup> = *EF*.\$*OID*<sup>T</sup>##*FeuerstärkeGlaubwürdigkeit*<sup>F</sup>;  
*StärkeAbgeleitet*<sup>B</sup> = *EF*.\$*OID*<sup>T</sup>##*FeuerstärkeAbgeleitet*<sup>B</sup>;  
*Feuerschaden*<sup>I</sup> = *EF*.\$*OID*<sup>T</sup>##*FeuerschadenSchadensklasse*<sup>I</sup>;  
*SchadenGlaubwürdigkeit*<sup>F</sup> = *EF*.\$*OID*<sup>T</sup>##*FeuerschadenGlaubwürdigkeit*<sup>F</sup>;  
*SchadenAbgeleitet*<sup>B</sup> = *EF*.\$*OID*<sup>T</sup>##*FeuerschadenAbgeleitet*<sup>B</sup>}  
 ~ *Folgerisiken aufgrund eines Feuers*  
*Wenn*(*Feuerstärke*<sup>I</sup> = 3)  
*Dann*[  
*Wenn*((*A.Umw.Geb.*.\$*OID*<sup>T</sup>##*Fest/Flüssig/Gasförmig!ExplosivSicherheit*<sup>I</sup> > 2)&  
 (*A.Umw.Geb.*.\$*OID*<sup>T</sup>##*Fest/Flüssig/Gasförmig!ExplosivPotenzial*<sup>I</sup> > 1))  
*Dann*[  
*Wenn*(*E.Umw.Geb.*.\$*OID*<sup>T</sup>##*Persons!Explosion*<sup>I</sup> = 5)  
*Dann*[  
*Wenn*(*EF*.\$*OID*<sup>T</sup>##*PersonenBetroffenePersonen*<sup>I</sup> > 0)  
*Dann*[  
*SetReg* : *E.Umw.Geb.*.\$*OID*<sup>T</sup>\$.*AID*<sup>T</sup>##*Persons!Explosion*<sup>I</sup> = 4;  
*SetReg* : *E.Umw.Geb.*.\$*OID*<sup>T</sup>\$.*AID*<sup>T</sup>##  
*Persons!ExplosionHinweis*<sup>T</sup> = *E.Umw.Geb.*.\$*OID*<sup>T</sup>\$.*AID*<sup>T</sup>##  
*Persons!ExplosionHinweis*<sup>T</sup> + *P.Umw.*.\$*AID*<sup>T</sup>##  
*HinweisPersons!ExplosionVonStrBurningExplosionHoch*<sup>T</sup> +  
*P.Umw.*.\$*AID*<sup>T</sup>##*HinweisBetroffenePersonen*<sup>C</sup>{*EF*<sup>L(\*)</sup>}<sup>T</sup>;  
*SetReg* : *E.Umw.Geb.*.\$*OID*<sup>T</sup>\$.*AID*<sup>T</sup>##*Persons!*  
*ExplosionGlaubwürdigkeit*<sup>F</sup> = *StärkeGlaubwürdigkeit*<sup>F</sup>;

*SetReg* : *E.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>\$. \$AID<sup>T</sup>##Persons!*  
*ExplosionAbgeleitet<sup>B</sup>* = *StärkeAbgeleitet<sup>B</sup>*]  
]

*Wenn*(*E.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>##Personnel!Explosion<sup>I</sup>* = 5)  
*Dann*[  
*Wenn*(%ANZAHL{*Ext.Einsatzstellenden.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>}\$<sup>I</sup>* > 0)  
*Dann*[  
*SetReg* : *E.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>\$. \$AID<sup>T</sup>##Personnel!Explosion<sup>I</sup>* = 4;  
*SetReg* : *E.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>\$. \$AID<sup>T</sup>##Personnel!ExplosionHinweis<sup>T</sup>* =  
*E.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>\$. \$AID<sup>T</sup>##Personnel!ExplosionHinweis<sup>T</sup>* +  
*P.Umw.\$AID<sup>T</sup>##HinweisPersonnel!ExplosionVonStrBurningExplosionHoch<sup>T</sup>*;  
*SetReg* : *E.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>\$. \$AID<sup>T</sup>##Personnel!ExplosionGlaubwürdigkeit<sup>F</sup>* =  
*StärkeGlaubwürdigkeit<sup>F</sup>*;  
*SetReg* : *E.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>\$. \$AID<sup>T</sup>##Personnel!ExplosionAbgeleitet<sup>B</sup>* =  
*StärkeAbgeleitet<sup>B</sup>*]  
]

*Wenn*(*E.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>##Environment!Explosion<sup>I</sup>* = 5)  
*Dann*[  
*SetReg* : *E.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>\$. \$AID<sup>T</sup>##Environment!ExplosionHinweis<sup>T</sup>* =  
*E.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>\$. \$AID<sup>T</sup>##Environment!ExplosionHinweis<sup>T</sup>* +  
*P.Umw.\$AID<sup>T</sup>##HinweisEnvironment!ExplosionVonStrBurningExplosionHoch<sup>T</sup>*;  
*SetReg* : *E.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>\$. \$AID<sup>T</sup>##Environment!ExplosionGlaubwürdigkeit<sup>F</sup>* =  
*StärkeGlaubwürdigkeit<sup>F</sup>*;  
*SetReg* : *E.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>\$. \$AID<sup>T</sup>##Environment!ExplosionAbgeleitet<sup>B</sup>* =  
*StärkeAbgeleitet<sup>B</sup>*];

*Wenn*(*E.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>##Equipment!Explosion<sup>I</sup>* = 5)  
*Dann*[  
*Wenn*(%ANZAHL{*Ext.Einsatzstellenden.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>}\$<sup>I</sup>* > 0)  
*Dann*[  
*SetReg* : *E.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>\$. \$AID<sup>T</sup>##Equipment!Explosion<sup>I</sup>* = 4;  
*SetReg* : *E.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>\$. \$AID<sup>T</sup>##Equipment!ExplosionHinweis<sup>T</sup>* =  
*E.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>\$. \$AID<sup>T</sup>##Equipment!ExplosionHinweis<sup>T</sup>* +  
*P.Umw.\$AID<sup>T</sup>##HinweisEquipment!ExplosionVonStrBurningExplosionHoch<sup>T</sup>*;  
*SetReg* : *E.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>\$. \$AID<sup>T</sup>##Equipment!ExplosionGlaubwürdigkeit<sup>F</sup>* =  
*StärkeGlaubwürdigkeit<sup>F</sup>*;  
*SetReg* : *E.Umw.Geb.\$OID<sup>T</sup>\$. \$AID<sup>T</sup>##Equipment!ExplosionAbgeleitet<sup>B</sup>* =  
*StärkeAbgeleitet<sup>B</sup>*]  
]

]

Wenn( $E.Umw.Geb.OID^T \# Animals!Explosion^I = 5$ )

Dann[

SetReg :  $E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# Animals!ExplosionHinweis^T =$   
 $E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# Animals!ExplosionHinweis^T +$   
 $P.Umw.AID^T \# HinweisAnimals!ExplosionVonStrBurningExplosionHoch^T;$   
SetReg :  $E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# Animals!ExplosionGlaubwürdigkeit^F =$   
 $StärkeGlaubwürdigkeit^F;$   
SetReg :  $E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# Animals!ExplosionAbgeleitet^B =$   
 $StärkeAbgeleitet^B];$

Wenn( $E.Umw.Geb.OID^T \# Assets!Explosion^I = 5$ )

Dann[

Wenn( $E.Umw.Geb.OID^T \# AssetsGefahrenklasse^I \leq 2$ )

Dann[

SetReg :  $E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# Assets!Explosion^I = 4;$   
SetReg :  $E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# Assets!ExplosionHinweis^T =$   
 $E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# Assets!ExplosionHinweis^T +$   
 $P.Umw.AID^T \# HinweisAssets!ExplosionVonStrBurningExplosionHoch+$   
 $P.Umw.AID^T \# HinweisAssetklasse^C \{EF^{L(*)}\}^T;$   
SetReg :  $E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# Assets!ExplosionGlaubwürdigkeit^F =$   
 $StärkeGlaubwürdigkeit^F;$   
SetReg :  $E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# Assets!ExplosionAbgeleitet^B =$   
 $StärkeAbgeleitet^B]$

]

]

Wenn( $(A.Umw.Geb.OID^T \# Fest/Flüssig/Gasförmig!ExplosivSicherheit^I \leq 2) \&$   
 $(A.Umw.Geb.OID^T \# Fest/Flüssig/Gasförmig!ExplosivPotenzial^I > 1)$ )

Dann[

Wenn( $E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# Persons!Explosion^I = 5$ )

Dann[

Wenn( $EF.OID^T \# PersonenBetroffenePersonen^I > 0$ )

Dann[

SetReg :  $E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# Persons!Explosion^I = 4;$   
SetReg :  $E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# Persons!ExplosionHinweis^T =$   
 $E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# Persons!ExplosionHinweis^T +$   
 $P.Umw.AID^T \# HinweisPersons!ExplosionVonStrBurningExplosionGering^T+$   
 $P.Umw.AID^T \# HinweisBetroffenePersonen^C \{EF^{L(*)}\}^T;$



]

Wenn( $E.Umw.Geb.OID^T \# \# \text{Personnel!RespToxins}^I = 5$ )

Dann[

Wenn( $\%ANZAHL\{Ext.Einsatzstellenden.Umw.Geb.OID^T\}^I > 0$ )

Dann[

SetReg :  $E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# \# \text{Personnel!RespToxins}^I = 4;$

SetReg :  $E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# \# \text{Personnel!RespToxinsHinweis}^T =$

$E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# \# \text{Personnel!RespToxinsHinweis}^T +$

$P.Umw.AID^T \# \# \text{HinweisPersonnel!RespToxinsVonStrBurningToxinsHoch}^T;$

SetReg :  $E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# \# \text{Personnel!RespToxinsGlaubwürdigkeit}^F =$

$StärkeGlaubwürdigkeit^F;$

SetReg :  $E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# \# \text{Personnel!RespToxinsAbgeleitet}^B =$

$StärkeAbgeleitet^B]$

]

Wenn( $E.Umw.Geb.OID^T \# \# \text{Environment!RespToxins}^I = 5$ )

Dann[

SetReg :  $E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# \# \text{Environment!RespToxinsHinweis}^T =$

$E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# \# \text{Environment!RespToxinsHinweis}^T +$

$P.Umw.AID^T \# \# \text{HinweisEnvironment!RespToxinsVonStrBurningToxinsHoch}^T;$

SetReg :  $E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# \# \text{Environment!RespToxinsGlaubwürdigkeit}^T =$

$RespToxinsGlaubwürdigkeit^T = EF.OID^T \# \#$

$FeuerstärkeSchadensklasseGlaubwürdigkeit^F];$

Wenn( $E.Umw.Geb.OID^T \# \# \text{Animals!RespToxins}^I = 5$ )

Dann[

SetReg :  $E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# \# \text{Animals!RespToxinsHinweis}^T =$

$E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# \# \text{Animals!RespToxinsHinweis}^T +$

$P.Umw.AID^T \# \# \text{HinweisAnimals!RespToxinsVonStrBurningToxinsHoch}^T;$

SetReg :  $E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# \# \text{Persons!RespToxinsGlaubwürdigkeit}^F =$

$StärkeGlaubwürdigkeit^F;$

SetReg :  $E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# \# \text{Persons!RespToxinsAbgeleitet}^B =$

$StärkeAbgeleitet^B]$

]

~ Bestimme mögliche Folgen von Feuer auf strukturelle Schäden

Wenn( $EF.OID^T \# \# \text{StrukturschadenSchadensklasse}^I \geq 4$ )

Dann[

Wenn( $E.Umw.Geb.OID^T \# \# \text{Persons!Collaps}^I = 5$ )

Dann[

Wenn( $EF.\$OID^T.\#\$PersonenBetroffenePersonen^I > 0$ )

Dann[

$SetReg : E.Umw.Geb.\$OID^T.\#\$AID^T.\#\$Persons!Collaps^I = 4;$

$SetReg : E.Umw.Geb.\$OID^T.\#\$AID^T.\#\$Persons!CollapsHinweis^T =$

$E.Umw.Geb.\$OID^T.\#\$AID^T.\#\$Persons!CollapsHinweis^T +$

$P.Umw.\$AID^T.\#\$HinweisPersons!CollapsVonStrBurningStruktschMinDS4^T +$

$P.Umw.\$AID^T.\#\$HinweisBetroffenePersonen^C\{EF^{L(*)}\}^T;$

$SetReg : E.Umw.Geb.\$OID^T.\#\$AID^T.\#\$Persons!CollapsGlaubwürdigkeit^F =$

$SchadenGlaubwürdigkeit^F;$

$SetReg : E.Umw.Geb.\$OID^T.\#\$AID^T.\#\$Persons!CollapsAbgeleitet^B =$

$SchadenAbgeleitet^B]$

]

Wenn( $E.Umw.Geb.\$OID^T.\#\$Personnel!Collaps^I = 5$ )

Dann[

Wenn( $\%ANZAHL\{Ext.Einsatzstellenden.Umw.Geb.\$OID^T.\}\}^I > 0$ )

Dann[

$SetReg : E.Umw.Geb.\$OID^T.\#\$AID^T.\#\$Personnel!Collaps^I = 4;$

$SetReg : E.Umw.Geb.\$OID^T.\#\$AID^T.\#\$Personnel!CollapsHinweis^T =$

$E.Umw.Geb.\$OID^T.\#\$AID^T.\#\$Personnel!CollapsHinweis^T +$

$P.Umw.\$AID^T.\#\$HinweisPersonnel!CollapsVonStrBurningStruktschMinDS4^T;$

$SetReg : E.Umw.Geb.\$OID^T.\#\$AID^T.\#\$Personnel!CollapsGlaubwürdigkeit^F =$

$SchadenGlaubwürdigkeit^F;$

$SetReg : E.Umw.Geb.\$OID^T.\#\$AID^T.\#\$Personnel!CollapsAbgeleitet^B =$

$SchadenAbgeleitet^B]$

]

Wenn( $E.Umw.Geb.\$OID^T.\#\$Equipment!Collaps^I = 5$ )

Dann[

Wenn( $\%ANZAHL\{Ext.Einsatzstellenden.Umw.Geb.\$OID^T.\}\}^I > 0$ )

Dann[

$SetReg : E.Umw.Geb.\$OID^T.\#\$AID^T.\#\$Equipment!Collaps^I = 4;$

$SetReg : E.Umw.Geb.\$OID^T.\#\$AID^T.\#\$Equipment!CollapsHinweis^T =$

$E.Umw.Geb.\$OID^T.\#\$AID^T.\#\$Equipment!CollapsHinweis^T +$

$P.Umw.\$AID^T.\#\$HinweisEquipment!CollapsVonStrBurningStruktschMinDS4^T;$

$SetReg : E.Umw.Geb.\$OID^T.\#\$AID^T.\#\$Equipment!CollapsGlaubwürdigkeit^F =$

$SchadenGlaubwürdigkeit^F;$

$SetReg : E.Umw.Geb.\$OID^T.\#\$AID^T.\#\$Equipment!CollapsAbgeleitet^B =$

$SchadenAbgeleitet^B]$

]

Wenn( $E.Umw.Geb.OID^T \# Animals!Collaps^I = 5$ )

Dann[

$SetReg : E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# Animals!Collaps^I = 4;$

$SetReg : E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# Animals!CollapsHinweis^T =$

$E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# Animals!CollapsHinweis^T +$

$P.Umw.AID^T \# HinweisAnimals!CollapsVonStrBurningStruktschMinDS4^T;$

$SetReg : E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# Animals!CollapsGlaubwürdigkeit^F =$

$SchadenGlaubwürdigkeit^F;$

$SetReg : E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# Animals!CollapsAbgeleitet^B =$

$SchadenAbgeleitet^B]$

Wenn( $E.Umw.Geb.OID^T \# Assets!Collaps^I = 5$ )

Dann[

Wenn( $E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# AssetsGefahrenklasse^I \leq 2$ )

Dann[

$SetReg : E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# Assets!Collaps^I = 4;$

$SetReg : E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# Assets!CollapsHinweis^T =$

$E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# Assets!CollapsHinweis^T +$

$P.Umw.AID^T \# HinweisAssets!CollapsVonStrBurningStruktschMinDS4^T +$

$P.Umw.AID^T \# HinweisAssetklasse^C \{EF^{L(*)}\}^T;$

$SetReg : E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# Assets!CollapsGlaubwürdigkeit^F =$

$SchadenGlaubwürdigkeit^F;$

$SetReg : E.Umw.Geb.OID^T \$.AID^T \# Assets!CollapsAbgeleitet^B =$

$SchadenAbgeleitet^B]$

]

]

Wenn( $EF.OID^T \# StrukturschadenSchadensklasse^I = 3$ )

...

...

]

]

~ Weitere Schadensklassen bei Bränden sind analog behandelt

Wenn( $EF.OID^T \# FeuerstärkeSchadensklasse^I = 2$ )

...

...

```

]
Wenn(EF.$OIDT$#FeuerstärkeSchadensklasseI = 1)
...
...
]

Ergebnis{}

```

## A.7. Fuzzy Regeln der Wissensbasis

### A.7.1. Struktur eines Fuzzy Funktionsblocks in FCL

```

FUNCTION_BLOCK

VAR_INPUT
    <variable name> REAL; (* RANGE(<variable minimum value> .. <
        variable maximum value>) *)
END_VAR

VAR_OUTPUT
    <variable name> REAL; (* RANGE(<variable minimum value> .. <
        variable maximum value>) *)
END_VAR

FUZZIFY <variable name>
    TERM <term (or set) name> := <points that make up the term>;
END_FUZZIFY

DEFUZZIFY valve
    METHOD: <defuzzification method>;
END_DEFUZZIFY

RULEBLOCK <ruleblock name>
    <operator>:<algorithm>;
    ACCUM:<accumulation method>;
    RULE <rule number>: IF <condition> THEN <conclusion>;
END_RULEBLOCK

END_FUNCTION_BLOCK

```

### A.7.2. FactReliabilityCalculation

## RULEBLOCK FactReliabilityCalculation

ACT : MIN;

AND : MIN;

ACCU : MAX;

RULE 111 : IF (ObserverQualification IS EXPERT) AND  
(ObservationQuality IS INSPECTION) THEN FactReliability IS  
CERTAIN;

RULE 112 : IF (ObserverQualification IS EXPERT) AND  
(ObservationQuality IS RANGE) THEN FactReliability IS  
HIGH\_CONFIDENCE;

RULE 113 : IF (ObserverQualification IS EXPERT) AND  
(ObservationQuality IS LIKELY) THEN FactReliability IS  
MEDIUM\_CONFIDENCE;

RULE 114 : IF (ObserverQualification IS EXPERT) AND  
(ObservationQuality IS POSSIBLE) THEN FactReliability IS  
MEDIUM\_CONFIDENCE;

RULE 115 : IF (ObserverQualification IS EXPERT) AND  
(ObservationQuality IS UNLIKELY) THEN FactReliability IS  
LOW\_CONFIDENCE;

RULE 121 : IF (ObserverQualification IS RELIABLE) AND  
(ObservationQuality IS INSPECTION) THEN FactReliability IS  
HIGH\_CONFIDENCE;

RULE 122 : IF (ObserverQualification IS RELIABLE) AND  
(ObservationQuality IS RANGE) THEN FactReliability IS  
HIGH\_CONFIDENCE;

RULE 123 : IF (ObserverQualification IS RELIABLE) AND  
(ObservationQuality IS LIKELY) THEN FactReliability IS  
MEDIUM\_CONFIDENCE;

RULE 124 : IF (ObserverQualification IS RELIABLE) AND  
(ObservationQuality IS POSSIBLE) THEN FactReliability IS  
MEDIUM\_CONFIDENCE;

RULE 125 : IF (ObserverQualification IS RELIABLE) AND  
(ObservationQuality IS UNLIKELY) THEN FactReliability IS  
UNLIKELY;

RULE 131 : IF (ObserverQualification IS UNRELIABLE) AND  
(ObservationQuality IS INSPECTION) THEN FactReliability IS  
HIGH\_CONFIDENCE;

RULE 132 : IF (ObserverQualification IS UNRELIABLE) AND  
(ObservationQuality IS RANGE) THEN FactReliability IS  
MEDIUM\_CONFIDENCE;

RULE 133 : IF (ObserverQualification IS UNRELIABLE) AND  
(ObservationQuality IS LIKELY) THEN FactReliability IS  
LOW\_CONFIDENCE;

RULE 134 : IF (ObserverQualification IS UNRELIABLE) AND

```

      (ObservationQuality IS POSSIBLE) THEN FactReliability IS
        LOW_CONFIDENCE;
RULE 135 : IF (ObserverQualification IS UNRELIABLE) AND
      (ObservationQuality IS UNLIKELY) THEN FactReliability IS
        UNLIKELY;

```

```
END_RULEBLOCK
```

### A.7.3. ReliabilityDegeneration

```
RULEBLOCK ReliabilityDegeneration
```

```

ACT   : MIN;
ACCU  : NSUM;
AND   : MIN;

RULE 0110 : IF (TimeSinceLastUpdate IS CURRENT) AND
      (FactReliability IS CERTAIN) THEN
      FactReliabilityDegenerated IS CERTAIN;
RULE 0120 : IF (TimeSinceLastUpdate IS CURRENT) AND
      (FactReliability IS HIGH_CONFIDENCE) THEN
      FactReliabilityDegenerated IS HIGH_CONFIDENCE;
RULE 0130 : IF (TimeSinceLastUpdate IS CURRENT) AND
      (FactReliability IS LOW_CONFIDENCE) THEN
      FactReliabilityDegenerated IS LOW_CONFIDENCE;
RULE 0140 : IF (TimeSinceLastUpdate IS CURRENT) AND
      (FactReliability IS MEDIUM_CONFIDENCE) THEN
      FactReliabilityDegenerated IS MEDIUM_CONFIDENCE;
RULE 0150 : IF (TimeSinceLastUpdate IS CURRENT) AND
      (FactReliability IS UNLIKELY) THEN
      FactReliabilityDegenerated IS UNLIKELY;
RULE 0160 : IF (TimeSinceLastUpdate IS CURRENT) AND
      (FactReliability IS UNDEFINED) THEN
      FactReliabilityDegenerated IS UNDEFINED;

RULE 0210 : IF (TimeSinceLastUpdate IS UPTODATE) AND
      (FactReliability IS CERTAIN) THEN
      FactReliabilityDegenerated IS CERTAIN;
RULE 0220 : IF (TimeSinceLastUpdate IS UPTODATE) AND
      (FactReliability IS HIGH_CONFIDENCE) THEN
      FactReliabilityDegenerated IS HIGH_CONFIDENCE;
RULE 0230 : IF (TimeSinceLastUpdate IS UPTODATE) AND
      (FactReliability IS LOW_CONFIDENCE) THEN
      FactReliabilityDegenerated IS LOW_CONFIDENCE;
RULE 0240 : IF (TimeSinceLastUpdate IS UPTODATE) AND

```

```
(FactReliability IS MEDIUM_CONFIDENCE) THEN
  FactReliabilityDegenerated IS MEDIUM_CONFIDENCE;
RULE 0250 : IF (TimeSinceLastUpdate IS UPTODATE) AND
  (FactReliability IS UNLIKELY) THEN
  FactReliabilityDegenerated IS UNLIKELY;

RULE 0310 : IF (TimeSinceLastUpdate IS OLDER) AND (
  FactReliability IS CERTAIN)
  THEN FactReliabilityDegenerated IS CERTAIN WITH (DEG1*(1/
  DEG4));
RULE 0311 : IF (TimeSinceLastUpdate IS OLDER) AND (
  FactReliability IS CERTAIN)
  THEN FactReliabilityDegenerated IS HIGH_CONFIDENCE WITH (
  DEG2*(1/DEG4));
RULE 0312 : IF (TimeSinceLastUpdate IS OLDER) AND (
  FactReliability IS CERTAIN)
  THEN FactReliabilityDegenerated IS MEDIUM_CONFIDENCE WITH
  (DEG3*(1/DEG4));
RULE 0320 : IF (TimeSinceLastUpdate IS OLDER) AND (
  FactReliability IS HIGH_CONFIDENCE)
  THEN FactReliabilityDegenerated IS HIGH_CONFIDENCE WITH (
  DEG1*(1/DEG4));
RULE 0321 : IF (TimeSinceLastUpdate IS OLDER) AND (
  FactReliability IS HIGH_CONFIDENCE)
  THEN FactReliabilityDegenerated IS MEDIUM_CONFIDENCE WITH
  (DEG2*(1/DEG4));
RULE 0322 : IF (TimeSinceLastUpdate IS OLDER) AND (
  FactReliability IS HIGH_CONFIDENCE)
  THEN FactReliabilityDegenerated IS LOW_CONFIDENCE WITH (
  DEG3*(1/DEG4));
RULE 0330 : IF (TimeSinceLastUpdate IS OLDER) AND (
  FactReliability IS MEDIUM_CONFIDENCE)
  THEN FactReliabilityDegenerated IS MEDIUM_CONFIDENCE WITH
  (DEG1*(1/DEG4));
RULE 0331 : IF (TimeSinceLastUpdate IS OLDER) AND (
  FactReliability IS MEDIUM_CONFIDENCE)
  THEN FactReliabilityDegenerated IS LOW_CONFIDENCE WITH (
  DEG2*(1/DEG4));
RULE 0332 : IF (TimeSinceLastUpdate IS OLDER) AND (
  FactReliability IS MEDIUM_CONFIDENCE)
  THEN FactReliabilityDegenerated IS UNLIKELY WITH (DEG3*(1/
  DEG4));
RULE 0340 : IF (TimeSinceLastUpdate IS OLDER) AND (
  FactReliability IS LOW_CONFIDENCE)
  THEN FactReliabilityDegenerated IS LOW_CONFIDENCE WITH (
  DEG1+DEG2);
```

```
RULE 0341 : IF (TimeSinceLastUpdate IS OLDER) AND (
    FactReliability IS LOW_CONFIDENCE)
    THEN FactReliabilityDegenerated IS UNLIKELY WITH (DEG1+
        DEG2);
RULE 0350 : IF (TimeSinceLastUpdate IS OLDER) AND (
    FactReliability IS UNLIKELY)
    THEN FactReliabilityDegenerated IS UNLIKELY;

RULE 0410 : IF (TimeSinceLastUpdate IS OUTDATED) AND (
    FactReliability IS CERTAIN)
    THEN FactReliabilityDegenerated IS CERTAIN WITH DEG1;
RULE 0411 : IF (TimeSinceLastUpdate IS OUTDATED) AND (
    FactReliability IS CERTAIN)
    THEN FactReliabilityDegenerated IS HIGH_CONFIDENCE WITH
        DEG2;
RULE 0412 : IF (TimeSinceLastUpdate IS OUTDATED) AND (
    FactReliability IS CERTAIN)
    THEN FactReliabilityDegenerated IS MEDIUM_CONFIDENCE WITH
        DEG3;
RULE 0413 : IF (TimeSinceLastUpdate IS OUTDATED) AND (
    FactReliability IS CERTAIN)
    THEN FactReliabilityDegenerated IS LOW_CONFIDENCE WITH
        DEG4;
RULE 0420 : IF (TimeSinceLastUpdate IS OUTDATED) AND (
    FactReliability IS HIGH_CONFIDENCE)
    THEN FactReliabilityDegenerated IS HIGH_CONFIDENCE WITH
        DEG1;
RULE 0421 : IF (TimeSinceLastUpdate IS OUTDATED) AND (
    FactReliability IS HIGH_CONFIDENCE)
    THEN FactReliabilityDegenerated IS MEDIUM_CONFIDENCE WITH
        DEG2;
RULE 0422 : IF (TimeSinceLastUpdate IS OUTDATED) AND (
    FactReliability IS HIGH_CONFIDENCE)
    THEN FactReliabilityDegenerated IS LOW_CONFIDENCE WITH
        DEG3;
RULE 0423 : IF (TimeSinceLastUpdate IS OUTDATED) AND (
    FactReliability IS HIGH_CONFIDENCE)
    THEN FactReliabilityDegenerated IS UNLIKELY WITH DEG4;
RULE 0430 : IF (TimeSinceLastUpdate IS OUTDATED) AND (
    FactReliability IS MEDIUM_CONFIDENCE)
    THEN FactReliabilityDegenerated IS MEDIUM_CONFIDENCE WITH
        (DEG1*(1/DEG4));
RULE 0431 : IF (TimeSinceLastUpdate IS OUTDATED) AND (
    FactReliability IS MEDIUM_CONFIDENCE)
    THEN FactReliabilityDegenerated IS LOW_CONFIDENCE WITH (
        DEG2*(1/DEG4));
```

```
RULE 0432 : IF (TimeSinceLastUpdate IS OUTDATED) AND (
    FactReliability IS MEDIUM_CONFIDENCE)
    THEN FactReliabilityDegenerated IS UNLIKELY WITH (DEG3*(1/
        DEG4));
RULE 0440 : IF (TimeSinceLastUpdate IS OUTDATED) AND (
    FactReliability IS LOW_CONFIDENCE)
    THEN FactReliabilityDegenerated IS LOW_CONFIDENCE WITH (
        DEG1+DEG2);
RULE 0441 : IF (TimeSinceLastUpdate IS OUTDATED) AND (
    FactReliability IS LOW_CONFIDENCE)
    THEN FactReliabilityDegenerated IS UNLIKELY WITH (DEG1+
        DEG2);
RULE 0450 : IF (TimeSinceLastUpdate IS OUTDATED) AND (
    FactReliability IS UNLIKELY)
    THEN FactReliabilityDegenerated IS UNLIKELY;
```

```
END_RULEBLOCK
```

#### **A.7.4. FactReliabilityCombination**

```
RULEBLOCK FactReliabilityCombination
```

```
ACT : MIN;
ACCU : MAX;
AND : MIN;
```

```
RULE 321 : IF (LastFactReliability IS CERTAIN) AND
    (NewFactReliability IS CERTAIN) THEN
    FactReliabilityCombined IS CERTAIN;
RULE 322 : IF (LastFactReliability IS CERTAIN) AND
    (NewFactReliability IS HIGH_CONFIDENCE) THEN
    FactReliabilityCombined IS CERTAIN;
RULE 323 : IF (LastFactReliability IS CERTAIN) AND
    (NewFactReliability IS MEDIUM_CONFIDENCE) THEN
    FactReliabilityCombined IS CERTAIN;
RULE 324 : IF (LastFactReliability IS CERTAIN) AND
    (NewFactReliability IS LOW_CONFIDENCE) THEN
    FactReliabilityCombined IS CERTAIN;
RULE 325 : IF (LastFactReliability IS CERTAIN) AND
    (NewFactReliability IS UNLIKELY) THEN
    FactReliabilityCombined IS CERTAIN;

RULE 331 : IF (LastFactReliability IS HIGH_CONFIDENCE) AND
    (NewFactReliability IS CERTAIN) THEN
    FactReliabilityCombined IS CERTAIN;
```

RULE 332 : IF (LastFactReliability IS HIGH\_CONFIDENCE) AND  
(NewFactReliability IS HIGH\_CONFIDENCE) THEN  
FactReliabilityCombined IS HIGH\_CONFIDENCE;

RULE 333 : IF (LastFactReliability IS HIGH\_CONFIDENCE) AND  
(NewFactReliability IS MEDIUM\_CONFIDENCE) THEN  
FactReliabilityCombined IS HIGH\_CONFIDENCE;

RULE 334 : IF (LastFactReliability IS HIGH\_CONFIDENCE) AND  
(NewFactReliability IS LOW\_CONFIDENCE) THEN  
FactReliabilityCombined IS HIGH\_CONFIDENCE;

RULE 335 : IF (LastFactReliability IS HIGH\_CONFIDENCE) AND  
(NewFactReliability IS UNLIKELY) THEN  
FactReliabilityCombined IS HIGH\_CONFIDENCE;

RULE 341 : IF (LastFactReliability IS MEDIUM\_CONFIDENCE) AND  
(NewFactReliability IS CERTAIN) THEN  
FactReliabilityCombined IS CERTAIN;

RULE 342 : IF (LastFactReliability IS MEDIUM\_CONFIDENCE) AND  
(NewFactReliability IS HIGH\_CONFIDENCE) THEN  
FactReliabilityCombined IS HIGH\_CONFIDENCE;

RULE 343 : IF (LastFactReliability IS MEDIUM\_CONFIDENCE) AND  
(NewFactReliability IS MEDIUM\_CONFIDENCE) THEN  
FactReliabilityCombined IS MEDIUM\_CONFIDENCE;

RULE 344 : IF (LastFactReliability IS MEDIUM\_CONFIDENCE) AND  
(NewFactReliability IS LOW\_CONFIDENCE) THEN  
FactReliabilityCombined IS MEDIUM\_CONFIDENCE;

RULE 345 : IF (LastFactReliability IS MEDIUM\_CONFIDENCE) AND  
(NewFactReliability IS UNLIKELY) THEN  
FactReliabilityCombined IS MEDIUM\_CONFIDENCE;

RULE 351 : IF (LastFactReliability IS LOW\_CONFIDENCE) AND  
(NewFactReliability IS CERTAIN) THEN  
FactReliabilityCombined IS CERTAIN;

RULE 352 : IF (LastFactReliability IS LOW\_CONFIDENCE) AND  
(NewFactReliability IS HIGH\_CONFIDENCE) THEN  
FactReliabilityCombined IS HIGH\_CONFIDENCE;

RULE 353 : IF (LastFactReliability IS LOW\_CONFIDENCE) AND  
(NewFactReliability IS MEDIUM\_CONFIDENCE) THEN  
FactReliabilityCombined IS MEDIUM\_CONFIDENCE;

RULE 354 : IF (LastFactReliability IS LOW\_CONFIDENCE) AND  
(NewFactReliability IS LOW\_CONFIDENCE) THEN  
FactReliabilityCombined IS LOW\_CONFIDENCE;

RULE 355 : IF (LastFactReliability IS LOW\_CONFIDENCE) AND  
(NewFactReliability IS UNLIKELY) THEN  
FactReliabilityCombined IS LOW\_CONFIDENCE;

RULE 361 : IF (LastFactReliability IS UNLIKELY) AND

```
(NewFactReliability IS CERTAIN) THEN
  FactReliabilityCombined IS CERTAIN;
RULE 362 : IF (LastFactReliability IS UNLIKELY) AND
  (NewFactReliability IS HIGH_CONFIDENCE) THEN
  FactReliabilityCombined IS HIGH_CONFIDENCE;
RULE 363 : IF (LastFactReliability IS UNLIKELY) AND
  (NewFactReliability IS MEDIUM_CONFIDENCE) THEN
  FactReliabilityCombined IS MEDIUM_CONFIDENCE;
RULE 364 : IF (LastFactReliability IS UNLIKELY) AND
  (NewFactReliability IS LOW_CONFIDENCE) THEN
  FactReliabilityCombined IS LOW_CONFIDENCE;
RULE 365 : IF (LastFactReliability IS UNLIKELY) AND
  (NewFactReliability IS UNLIKELY) THEN
  FactReliabilityCombined IS UNLIKELY;
```

END\_RULEBLOCK

## A.8. Auszug aus der Fakten- und Wissensbasis

### A.8.1. Beispielterme der Fakten- und Wissensbasis

Bezeichner des Terms	Beschreibung
<i>C.Umw.Bestimme#AktuelleZeit</i>	Referenz der Regel- und Datenbasis auf die Java Methode zur Bestimmung der aktuellen Zeit des Computersystems.
<i>C.Umw.Bestimme#AktuelleUhrzeit</i>	Die aktuelle Uhrzeit. Sie wird in Form einer vierstelligen Zahl durch die Verkettung von Stunden und Minuten gebildet. Somit entspricht z. B. 16 Uhr und 15 Minuten der Zahl 1615.
<i>C.Umw.Bestimme# AktuellerWochentag</i>	Der aktuelle Wochentag. Unterschieden wird zwischen Arbeitstagen ( $Wochentag \leq 5$ ), Wochenenden ( $8 > Wochentag > 5$ ) und Feiertagen ( $Wochentag = 8$ ).
<i>F.Umw.Allgem#SchadenZeit</i>	Der Zeitpunkt zu dem das Schadensereignis stattfand.
<i>F.Umw.Allgem#SchadenUhrzeit</i>	Uhrzeit zu der es zu dem Schadensvorfall kam. Ihre Darstellung entspricht der von <i>C.Umw.Bestimme#AktuelleUhrzeit</i> .
<i>F.Umw.Allgem#SchadenWochentag</i>	Wochentag an dem es zu dem Schadensvorfall kam. Seine Darstellung entspricht <i>C.Umw.Bestimme#AktuellerWochentag</i> .
<i>F.Umw.\$TYPT\$.\$OIDT\$##SchadenZeit</i>	Der Zeitpunkt zu dem das Schadensereignis bei diesem Umweltobjekt stattfand.
<i>F.Umw.\$TYPT\$.\$OIDT\$## SchadenUhrzeit</i>	Die Uhrzeit zu der das Schadensereignis bei diesem Umweltobjekt stattfand. Ihre Darstellung entspricht der von <i>C.Umw.Bestimme#AktuelleUhrzeit</i> .
<i>F.Umw.\$TYPT\$.\$OIDT\$## SchadenWochentag</i>	Der Wochentag zu dem das Schadensereignis bei diesem Umweltobjekt stattfand. Seine Darstellung entspricht <i>C.Umw.Bestimme#AktuellerWochentag</i> .
<i>C.Umw#Erkundungsgrad<sup>F</sup></i>	Gibt den Anteil des Einsatzgebietes an, der bereits erkundet wurde ( $\frac{\sum F.Umw.$TYPT$##ObjekteErkundet^I}{\sum F.Umw.$TYPT$##ObjekteInUmwelt^I}$ ).
<i>C.Umw.\$TYPT\$##Erkundungsgrad<sup>F</sup></i>	Gibt den Anteil der bisher erkundeten Objektes eines Typs an ( $\frac{F.Umw.$TYPT$##ObjekteErkundet^I}{F.Umw.$TYPT$##ObjekteInUmwelt^I}$ ).

## A.8 Auszug aus der Fakten- und Wissensbasis

$F.Umw.\$TYP^T\$ \#ObjekteErkundet^I$	Anzahl der Objekte eines Typs für die bereits eine reale Beobachtung existiert.
$F.Umw.\$TYP^T\$ \#ObjekteInUmwelt^I$	Die Anzahl aller Umweltobjekte eines Typs.
$F.Umw.Geb.\$OID^T\$ \#Personen$	Zahl der in einem Gebäude gemeldeten bzw. im allgemeinen anwesenden Personen.
$F.Umw.Str.MeideKante.\$AID^T\$ \# \$OID^T\$^B$	Falls für den durch $AID^T$ bestimmten Agenten die Vorgabe besteht, die Kante mit $\$OID^T\$$ zu meiden, steht unter dem entsprechenden Schlüssel ein boolescher Wert mit <i>Wahr</i> .
$C.Umw.Geb.Bestimme\#$ $Verschüttete^R\{OID^T, StrSchKl\}^I$	Referenz aus der Regel- und Datenbasis zu einer Java Methode, welche die Anzahl der verschütteten Personen für das gegebene Gebäude abschätzt.
$C.Umw.Pers\#MaxGeschädigte^C$ $\{OID^T\}^I$	$\%MAX\{F.Umw.Geb.\$OID^T\$ \#Geschädigte, Summe(F.Umw.Geb.\$OID^T\$ \#Personenschaden!T1Min^I, \dots, 4 F.Umw.Geb.\$OID^T\$ \#Personenschaden!T4Max)\}$
$C.Umw.Pers\#MinGeschädigte^C$ $\{OID^T\}^I$	$\% F.Umw.Geb.\$OID^T\$ \#Personenschaden!T1Min^I, \dots, F.Umw.Geb.\$OID^T\$ \#Personenschaden!T4Min)\}$
$C.Res.Bestimme\#TypAttribute^C$ $\{RID^T\}^{L(*)}$	$\%REF\{A.Res.Mob.\} + A.Res.Mob.\$CLASS^T\$.\$RID^T\$ \#TypBezeichner^T\}$
$C.Res.Ausstattung\#$ $Fähigkeiten^C\{CLASS^T, RID^T\}^{L(*)}$	$A.Res.Mob.\$CLASS^T\$.\$RID^T\$^{L(*)} + C.Res.Bestimme\#TypAttribute^C\{RID^T\}^{L(*)}$
$C.Res.Ausstattung\#Fähigkeiten^C$ $\{CLASS^T, RID^T\} \#Löschkapa^F$	Diese ergibt sich aus der Flussrate der Einheit in $m^3$ multipliziert mit dem Effizienzfaktor des Löschmittels mal der Löschleistung von Wasser (2,6 MW).
$P.Umw.Pers.Geb.\$AID^T\$ \#Anzahl!low^I$	5
$P.Umw.Pers.Geb.\$AID^T\$ \#Anzahl!med^I$	20
$P.Umw.Pers.Geb.\$AID^T\$ \#Anzahl!high^I$	50
$P.Umw.Geb.\$AID^T\$ \#$ $VerschüttetenzahlLow$	5
$P.Umw.Geb.\$AID^T\$ \#$ $VerschüttetenzahlMedium$	10

## A.8.2. Beispielterme für Textbausteine der ADVISOR-Agenten

Bezeichner des Terms	Beschreibung
$P.Umw.Geb.\$AID^T\$#\$$ $HinweisPers!Firelow2^T$	'Das Risiko für Personen in diesem Gebäude ist mäßig. Das Feuer -risiko ist gering, aber die Anzahl der anwesenden Personen ist groß.'
$P.Umw.\$AID^T\$#\$$ $HinweisKanteBlockiert^C\{OID^T\}^T$	'Die Straße '+ $A.Umw.Geb.\$OID^T\$#\$Name^T$ +' ist blockiert!'
$P.Umw.\$AID^T\$#\$$ $HinweisKanteGewicht^C\{OID^T\}^T$	'Die Straße '+ $A.Umw.Geb.\$OID^T\$#\$Name^T$ +' ist für das Gewicht der Einheit nicht zugelassen!'
$P.Umw.\$AID^T\$#\$$ $HinweisKanteMeiden^C\{OID^T\}^T$	'Die Straße '+ $A.Umw.Geb.\$OID^T\$#\$Name^T$ +' ist zu meiden!'
$P.Umw.\$AID^T\$#\$HinweisAbgeleitet^T$	'Die der Beurteilung zugrunde liegenden Informationen sind abgeleitet und beruhen nicht auf realen Meldungen.'
$P.Umw.\$AID^T\$#\$$ $HinweisEinsturzIstSimulation^T$	'Die Meldung bezüglich des strukturellen Schadens an dem Gebäude basiert auf einer Simulation.'
$P.Umw.Geb.\$AID^T\$#\$$ $HinweisBetroffenePersonen^C\{OID^T\}^T$	'In dem Gebäude "+ $A.Umw.Geb.\$OID^T\$#\$Name^T$ +" sind potenziell '+ $F.Umw.Geb.\$OID^T\$#\$$ $PersonenBetroffenePersonen^I$ +' Personen gefährdet!'
$P.Umw.Geb.\$AID^T\$#\$$ $HinweisVerschüttetenzahlHigh^C$ $\{OID^T, Anzahl^I\}^T$	'Soweit bekannt sind in dem Gebäude '+ $A.Umw.Geb.$ $\$OID^T\$#\$Name^T$ +' eine hohe Anzahl von '+' $Zahl^I$ +' Personen verschüttet!'
$P.Umw.Geb.\$AID^T\$#\$$ $HinweisEinsturzGlaubwLow$	'Die Glaubwürdigkeit des strukturellen Schadens an diesem Gebäude ist gering.'
$P.Umw.Geb.\$AID^T\$#\$$ $HinweisFirePropagationFläche^C$ $\{OID^T, L^F, M^F, H^F\}^T$	'Möglicherweise sind der Ausbreitung des Brandes im Gebäude ' +' $A.Umw.Geb.\$OID^T\$#\$Name^T$ +' sind Flächen betroffen von ' +' $L^F$ +' qm <sup>2</sup> mit einem geringen, solche von '+ $M^F$ +' ' qm <sup>2</sup> mit einem mittleren und solche von '+ $H^F$ +' qm <sup>2</sup> mit einem hohen Risiko betroffen.'
$P.Umw.Geb.\$AID^T\$#\$$ $HinweisFireRestfläche^C\{OID^T, A^F\}^T$	'Bei dem Gebäude '+ $A.Umw.Geb.\$OID^T\$#\$Name^T$ +' ist nach Abschätzungen noch eine Fläche von "+ $L^F$ +" qm <sup>2</sup> nicht vom Feuer betroffen.'

<p><i>P.Umw.Geb.\$AID^T\$#</i>  <i>HinweisVerschüttete<sup>C</sup>{OID<sup>T</sup>, Anzahl<sup>I</sup>}<sup>T</sup></i></p>	<p>'In dem Gebäude '+<i>A.Umw.Geb.\$OID^T\$#Name</i>+' werden '          +<i>Anzahl<sup>I</sup></i>+' an verschütteten Personen vermutet.'</p>
<p><i>P.Umw.Geb.\$AID^T\$#</i>  <i>HinweisNutzungs-klasse<sup>C</sup>{OID<sup>T</sup>}<sup>T</sup></i></p>	<p>'Das Gebäude wird als '          +<i>R.Umw.Geb.\$AID^T\$#Nutzungs-klasseZuBeschreibung<sup>R</sup></i>          {<i>A.Umw.Geb.\$OID^T\$#Nutzungs-klasse<sup>T</sup></i>}<sup>T</sup> + eingesetzt.'</p>
<p><i>P.Umw.Geb.\$AID^T\$#</i>  <i>HinweisEinsturz</i>  <i>MauerwerkZeitpunktMittel<sup>C</sup>{Time<sup>F</sup>}<sup>T</sup></i></p>	<p>'Seit dem Einsturzes sind bereits Zeit '+<i>\$Time<sup>I</sup>\$</i>+' Stunden          vergangen. Der Werkstoff des Gebäudes ist Mauerwerk. Die          Überlebenschancen von Verschütteten sinken rapide.'</p>
<p><i>P.Umw.Geb.\$AID^T\$#</i>  <i>HinweisWerkstoffMauerwerk<sup>T</sup></i></p>	<p>'Der Hauptwerkstoff bei der Konstruktion des Gebäudes          ist Mauerwerk.'</p>
<p><i>P.Umw.Geb.\$AID^T\$#</i>  <i>HinweisVolZuVerschGering<sup>T</sup></i></p>	<p>'In dem Trümmern ist die Anzahl der Verschütteten pro m<sup>3</sup> gering.'</p>
<p><i>P.Umw.Geb.\$AID^T\$#</i>  <i>HinweisVerletzteKeineDetails<sup>T</sup></i></p>	<p>'Für diese Abschätzung konnte keine Aufschlüsselung der Verletzten          in Triage Klassen verwendet werden.'</p>
<p><i>P.Umw.Geb.\$AID^T\$#</i>  <i>HinweisVerletzteRealMeldung<sup>T</sup></i></p>	<p>'Die zugrundeliegenden Informationen zu Verletzten basieren auf          einer direkten Meldung.'</p>
<p><i>P.Umw.Geb.\$AID^T\$#</i>  <i>HinweisVerletzteSimAbgeleitet<sup>T</sup></i></p>	<p>'Die zugrundeliegenden Informationen zu Verletzten basieren auf          einer Ableitung auf Basis von Simulationsdaten.'</p>
<p><i>P.Res.Mob.\$AID^T\$#</i>  <i>SARRisikoFürEinsatzkräfteAkzeptabel<sup>T</sup></i></p>	<p>„Die zuvor genannten Gefahrenquellen basieren auf Ableitungen          des Agenten. Ihr Vorhandensein sollte vor Ort überprüft werden.          Gegebenenfalls könnten sie die Such- und Rettungskräften an          diesem Einsatzort gefährden.'</p>
<p><i>P.Res.Mob.\$AID^T\$#</i>  <i>SARHinweisReserveNichtZuordnen<sup>C</sup></i>  <i>{Reserve<sup>F</sup>}<sup>T</sup></i></p>	<p>'Bisher liegen Meldungen zum Zustand von '+<i>C.Umw.Geb#</i>  <i>Erkundungsgrad<sup>F</sup></i>+'% der Gebäude im Einsatzgebiet vor. Es wird          eine Reserve von '+<i>[Reserve<sup>F</sup>]</i>+' Einheiten empfohlen. Die          die Priorität des Einsatzgebietes ist zu gering, um das Antasten der          Reserve zu rechtfertigen.'</p>
<p><i>P.Res.Mob.\$AID^T\$#SARHinweisKran<sup>T</sup></i></p>	<p>'Durch den Umfang des strukturellen Schadens und den verwendete          Baustoff Beton, ist ggf. einen Kran als Hilfsmittel nötig.'</p>

<i>P.Res.Mob.\$AID^T\$#SARZuordnungJa<sup>C</sup> {Zugeordnet<sup>I</sup>, Maximal<sup>I</sup>}<sup>T</sup></i>	'Bei dem Gebäude sollten maximal "+\$Maximal <sup>I</sup> \$+" Einheiten eingesetzt werden. Da bisher "+\$Zugeordnet <sup>I</sup> \$+" zugewiesen sind, können noch weitere dort eingesetzt werden.'
<i>P.Res.Mob.\$AID^T\$# SARZuordnungEineEinheit<sup>T</sup></i>	'Dem Gebäude sollte aufgrund des Volumens der Trümmer nur eine SAR-Team zugeordnet werden. Das Team sollte eine möglichst ausgewogene Qualifikation aufweisen.'
<i>P.Res.Mob.\$AID^T\$# SARZuordnungBeton<sup>T</sup></i>	'Für Bergungsaktionen aus Betongebäude mit einem umfangreichen strukturellen Schaden sollten spezialisierte Teams wie das vorliegende eingesetzt werden.'
<i>P.Res.Mob.\$AID^T\$# SARZuordnungWeitereEinheiten<sup>T</sup></i>	'Dem Gebäude können noch weitere Einheiten zugewiesen werden.'
<i>P.Res.Mob.\$AID^T\$# SARRettungZuordnung<sup>T</sup></i>	'Bei dem Gebäude fehlt es an auf die Rettung spezialisierten Kräften.'
<i>P.Res.Mob.\$AID^T\$#SARAbcErkundung<sup>T</sup></i>	'Da bei dem Gebäude ggf. eine ABC-Gefährdung besteht, sollte eine Erkundungseinheit als Unterstützung angefordert werden.'
<i>P.Res.Mob.\$AID^T\$# RessourcenUnzureichend<sup>T</sup></i>	'Die verfügbaren und zugeordneten Ressourcen sind unzureichend, um die vorliegende Gefahr vollständig einzudämmen.'
<i>P.Res.Mob.\$AID^T\$# BekämpfungUneffektiv<sup>T</sup></i>	'Der vorliegende Schaden am Gebäude ist so umfangreich, dass eine Bekämpfung des Feuers nicht mehr sinnvoll erscheint.'
<i>P.Res.Mob.\$AID^T\$# GefährdungBrennbareStoffe<sup>C</sup>{Stoff<sup>T</sup>}<sup>T</sup></i>	'Bei dem Gebäude liegt eine besondere Gefährdung in Form eines brandfördernden oder -beschleunigenden Stoffes mit der Bezeichnung '+\$Stoff <sup>T</sup> \$+' vor.'
<i>P.Res.Mob.\$AID^T\$#AbcRisikoBeachten<sup>T</sup></i>	'Da in dem Einsatzgebiet Atomare und Chemische-Gefahrenquellen existieren, sollten die Einsatzkräfte entsprechende Schutzausrüstung aufweisen.'
<i>P.Res.Mob.\$AID^T\$#GebäudeHöhe<sup>T</sup></i>	'Das Gebäude ist mehr als zwei Stockwerke bzw. über fünf Meter hoch. Der Einsatz eines Hubrettungsfahrzeuges ist zu empfehlen.'

$P.Res.Mob.\$AID^T\$#\$AbcErkundungPrim^T$	'Im Einsatzgebiet muss mit atomaren und chemischen-Gefahrenquellen gerechnet werden. Um dies zu prüfen, wird eine Einheit mit entsprechenden Analysefähigkeiten empfohlen. Die vorliegende Ressource ist darauf spezialisiert.'
$P.Res.Mob.\$AID^T\$#\$AbcSchutzSec^T$	'Im Einsatzgebiet muss mit atomaren und chemischen-Gefahrenquellen gerechnet werden. Die vorliegende Ressource ist auf entsprechende Einsätze vorbereitet.'
$P.Res.Mob.\$AID^T\$#\$LöschleistungNötig^T$	'Die bisher zugewiesene Löschleistung ist noch nicht ausreichend.'
$P.Res.Mob.\$AID^T\$#\$LöschleistungZuGross^C\{Überhang^F\}^T$	'Die zugewiesene Löschleistung scheint zusammen mit dieser Ressource ausreichend. Die Leistung der gewählten Einheit wird dazu lediglich zu "+ $\$Überhang^F\$$ " Prozent benötigt.'
$P.Res.Mob.\$AID^T\$#\$RelativDistanzGross^C\{Distanz^F\}^T$	'Die gewichtete Distanz zu dem Einsatzgebiet ist mit '+ $\$Distanz^F\$$ ' groß.'
$P.Res.Mob.\$AID^T\$#\$UnsichereInformationslageSec^T$	'Die Informationen Schäden aufgrund von Feuer, sind für das Gebäude sehr unsicher. Es wird empfohlen zunächst nur einer Erkundungseinheit zu schicken. Die vorliegende Ressource ist dazu bedingt geeignet.'
$P.Res.Mob.\$AID^T\$#\$GefährdungBrennbares^T$	'In dem Gebäude lagern Stoffe, die das Feuer beschleunigen und/oder schwerer löschar machen. Eine Einheit mit entsprechendem Löschmittel wird empfohlen.'
$P.Res.Mob.\$AID^T\$#\$Rettungshöhe^C\{GebHöhe, ResHöhe\}^T$	'Der bewertete Rettungshubwagen hat eine maximale Höhe von '+ $\$ResHöhe\$$ ' Metern. Das Brennende Gebäude ist etwa '+ $\$GebHöhe\$$ ' Metern hoch. Die Differenz ist damit '+ $(\$GebHöhe\$ - \$ResHöhe\$)$ ' Metern.'
$P.Res.Mob.\$AID^T\$#\$Einsatzleitwagen^C\{LöschfahrzeugAnzahl\}^T$	'Für die Anzahl der zugeordneten Löschfahrzeugen '+ $\$LöschfahrzeugAnzahl\$$ ' ist die Kapazität der verfügbaren mobilen Leitstellen ggf. nicht ausreichend.'
$P.Res.Mob.\$AID^T\$#\$AmbulanzUnterstützungPrim^T$	'Aufgrund der Risiken für die Gesundheit wird als Unterstützung eine Ambulanz Einheit empfohlen. Diese Ressource ist sehr gut für diese Aufgabe geeignet.'



# Literaturverzeichnis

- [ABCC11] David L Applegate, Robert E Bixby, Vasek Chvatal, and William J Cook. *The traveling salesman problem: a computational study*. Princeton university press, 2011.
- [ABD<sup>+</sup>06] H A Adams, G Baumann, C Dodt, C Ebener, M Emmel, S Geiger, U Janssens, U Klima, H J Klippe, W T Knoefel, and Others. Stellungnahme zur Patientenversorgung im Katastrophenfall. *Intensivmedizin und Notfallmedizin*, 43(5): 452–456, 2006.
- [ABS00] Serge Abiteboul, Peter Buneman, and Dan Suciu. *Data on the Web: from relations to semistructured data and XML*. Morgan Kaufmann, 2000.
- [AKN13] Schadensmeldung nach Muster der AKNZ. 2013, [www.thema-katastrophenschutz.de/index.php/2013-09-23-19-55-16/downloads/finish/6-algemein/14-schadensmeldung-nach-muster-aknz/0](http://www.thema-katastrophenschutz.de/index.php/2013-09-23-19-55-16/downloads/finish/6-algemein/14-schadensmeldung-nach-muster-aknz/0).
- [All10] T Allweyer. *BPMN 2.0: Introduction to the Standard for Business Process Modeling*. Books on Demand, 2010.
- [AOS15] AOS. JACK Agent Framework. 2015, [www.aosgrp.com/products/jack](http://www.aosgrp.com/products/jack).
- [AP05] D Arnott and G Pervan. A critical analysis of decision support systems research. *Journal of Information Technology*, 20(2): 67–87, 2005.
- [AR06] Dino Ahr and Gerhard Reinelt. A tabu search algorithm for the min–max k-Chinese postman problem. *Computers & operations research*, 33(12): 3403–3422, 2006.
- [BAD<sup>+</sup>09] Curtis Blais, Jeff Abbott, Saikou Diallo, Stan Levine, Per M Gustavsson, Eva Nero, and Chuck Turnitsa. Coalition Battle Management Language (C-BML) phase 1 specification development: an update to the M&S community. In *Paper 09F-SIW-001, Proceedings of the Fall Simulation Interoperability Workshop, Simulation Interoperability Standards Organization, Orlando*, 2009.
- [Bal99] H Balzert. *Lehrbuch der Objektmodellierung*. Spektrum, Akad. Verl., 1999.
- [Ban98] J Banks. *Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice*. John Wiley, New York, 1998.

- [BBC04] BBC. Natural Disasters 'on the rise'. 2004, [news.bbc.co.uk/2/hi/3666474.stm](http://news.bbc.co.uk/2/hi/3666474.stm).
- [BBD<sup>+</sup>06] Rafael H Bordini, Lars Braubach, Mehdi Dastani, A El F Seghrouchni, Jorge J Gomez-Sanz, Joao Leite, Gregory O'Hare, Alexander Pokahr, and Alessandro Ricci. A survey of programming languages and platforms for multi-agent systems. *Informatica*, 30(1), 2006.
- [BBF<sup>+</sup>01] M. Baur, Y. Bayraktarli, F. Fiedrich, D. Lungu, and M. Markus. EQ-SIM - A GIS-Based Damage Estimation Tool for Bucharest. *Earthquake Hazard and Countermeasures for Existing Fragile Buildings, Independent Film, Bucharest*, pages 245–254, 2001.
- [BBK06] BBK. Konzept zur überörtlichen Hilfe bei MANV - Erneuerung im Zivil- / Katastrophenschutz. 2006, [www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Downloads/GesBevS/Hilfekonzept\\_bei\\_MANV.html](http://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Downloads/GesBevS/Hilfekonzept_bei_MANV.html).
- [BCD<sup>+</sup>03] Altaf Bahora, Tyler Collins, Steven Davis, Sinem Goknur, Barry M. Horowitz, Jason Kearns, Trinh Lieu, Thinh Nguyen, Stephen D. Patek, and Jim Zeng. Integrated Peer-to-Peer Applications for Advanced Emergency Response Systems Part I: Concept of Operations. *Proceedings of the Systems and Information Engineering Design Symposium*, pages 261–268, 2003.
- [BCPR08] Fabio Bellifemine, Giovanni Caire, Agostino Poggi, and Giovanni Rimassa. JADE: A software framework for developing multi-agent applications. Lessons learned. *Information and Software Technology*, 50(1-2): 10–21, 2008, [www.sciencedirect.com/science/article/B6V0B-4PYJS94-2/2/cd58b314a86698f16070c6088ed6418f](http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V0B-4PYJS94-2/2/cd58b314a86698f16070c6088ed6418f).
- [Bea92] Lee Roy Beach. Image Theory: Decision Making in Personal and Organizational Contexts. *Journal of Organizational Behavior*, 13(5): 533–534, 1992, [dx.doi.org/10.1002/job.4030130509](https://doi.org/10.1002/job.4030130509).
- [Bet08] Tilmann Betsch. The nature of intuition and its neglect in research on judgment and decision making. *Intuition in judgment and decision making*, pages 3–22, 2008.
- [BGH05] Curtis Blais, Kevin Galvin, and Michael Hieb. Coalition Battle Management Language (C-BML) Study Group Report. 2005.
- [BGK99] C Borgelt, J Gebhardt, and R Kruse. Fuzzy Methoden in der Datenanalyse. *Fuzzy Theorie und Stochastik-Modelle und Anwendungen in der Diskussion*, pages 370–386, 1999.
- [BH05] F X Bea and J Haas. *Strategisches Management*. UVK Verlagsgesellschaft, Konstanz/München, 4. auflage edition, 2005.
- [BK01] C Borgelt and R Kruse. Unsicherheit und Vagheit: Begriffe, Methoden, Forschungsthemen. *KI*, 15(3): 5–8, 2001.

- [BKI08] C Beierle and G Kern-Isberner. *Methoden wissensbasierter Systeme: Grundlagen, Algorithmen, Anwendungen*. Computational Intelligence. Vieweg+Teubner Verlag, 2008.
- [BLT<sup>+</sup>14] Curtis Blais, Stan Levine, Andreas Tolk, Michael R Hieg, and J Mark Pullen. Joint Battle Management Language (JBML)-US Contribution to the C-BML PDG and NATO MSG-048 TA. 2014.
- [Blu77] Arthur L Blumenthal. *The process of cognition*. Prentice Hall/Pearson Education, 1977.
- [BM04] Paul V Biron and Ashok Malhotra. XML Schema Part 2: Datatypes Second Edition. *World Wide Web Consortium Recommendation REC-xmlschema-2-20041028*, 2004.
- [BMR<sup>+</sup>05] A G Bruzzone, R Mosca, R Revetria, E Bocca, and E Briano. Agent Directed HLA Simulation for Complex Supply Chain Modeling. *SIMULATION*, 81(9): 647, 2005.
- [BO04] Joshua Bloch and Others. JSR 175: A metadata facility for the Java programming language, 2004.
- [Bod94] M Boden. Agents and creativity. *Communications of the ACM* 37, (7): 117–121, 1994.
- [Boy87] John R Boyd. Organic design for command and control. *Unpublished lecture notes*, 1987, [www.quadratic.net/boyd/organic\\_design.pdf](http://www.quadratic.net/boyd/organic_design.pdf).
- [Boy96] John R Boyd. The essence of winning and losing. *Unpublished lecture notes*, 1996, [tobeortodo.com/wp-content/uploads/2011/11/essence\\_of\\_winning\\_losing.pdf](http://tobeortodo.com/wp-content/uploads/2011/11/essence_of_winning_losing.pdf).
- [BP03] Francis A Bowers III and David L Prochnow. Simulation for emergency response: JTLS-JCATS federation support of emergency response training. In *Proceedings of the 35th conference on Winter simulation: driving innovation*, pages 1052–1060. Winter Simulation Conference, 2003.
- [BPSM<sup>+</sup>06] Tim Bray, Jean Paoli, C Michael Sperberg-McQueen, Eve Maller, and François Yergeau. Extensible markup language (XML). *World Wide Web Consortium Recommendation REC-xml-20060816*. [www.w3.org/TR/2006/REC-xml11-20060816](http://www.w3.org/TR/2006/REC-xml11-20060816), 16, 2006.
- [BR01] G A Bigley and K H Roberts. The Incident Command System: High-Reliability Organizing for Complex and Volatile Task Environments. *The Academy of Management Journal*, 44(6): 1281–1299, 2001.
- [Bra87] Michael Bratman. *Intention, Plans, and Practical Reason*. Center for the Study of Language and Information, 1987.
- [BRJ98] Grady Booch, James Rumbaugh, and Ivar Jacobson. Unified Modeling Language (UML). 94, 1998, [www.rational.com/uml/](http://www.rational.com/uml/).

- [BUHB09] Bundesinstitut für Risikobewertung, Herausgegeben von E Ulbig, R F Hertel, and G F Böhl. Evaluierung der Kommunikation über die Unterschiede zwischen 'risk' und 'hazard'. 2009.
- [Bur00] Hans-Dieter Burkhard. *Software-Agenten*, volume 3. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München, Wien, 3. edition, 2000.
- [BW98] Giampiero E.G. Beroggi and William A. Wallace. *Operational risk management: the integration of decision, communications, and multimedia technologies*. Kluwer Academic Publishers, Boston, 1998.
- [C-B11] C-BML Schema Files. 2011, [netlab.gmu.edu/trac/OpenBML/export/HEAD/CBML\\_Schema](http://netlab.gmu.edu/trac/OpenBML/export/HEAD/CBML_Schema).
- [CAF12] Pablo Cingolani and Jesús Alcalá-Fdez. JFuzzyLogic: A robust and flexible Fuzzy-Logic inference system language implementation. *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, pages 10–15, 2012.
- [CBS98] Janis A Cannon-Bowers and Eduardo Salas. Individual and team decision making under stress: Theoretical underpinnings. 1998.
- [CC] G Covino and G Caire. Innovative NGN Management in Telecom Italia leveraging distributed agent technology, Tele Management Forum, IT & Operations Track. Nice, May 2007.
- [CDJT99] Cristiano Castelfranchi, Frank Dignum, Catholijn M Jonker, and Jan Treur. Deliberative normative agents: Principles and architecture. In *Intelligent agents VI. Agent theories, architectures, and languages*, pages 364–378. Springer, 1999.
- [Chr73] Nicos Christofides. The optimum traversal of a graph. *Omega*, 1(6): 719–732, 1973.
- [CJ04] I Carson and S John. Introduction to modeling and simulation. In *Proceedings of the 36th conference on Winter simulation*, pages 9–16. Winter Simulation Conference, 2004.
- [CM03] William F. Clocksin and Christopher S. Mellish. *WF Clocksin Programming in PROLOG: Using the ISO Standard*. Springer, 5 edition, 2003.
- [CMS<sup>+</sup>98] L Comfort, D Metzler, Y Sungu, M Dunn, L Selavo, K Brown, and J Myung. An Interactive Intelligent Spatial Information System (IISIS) for Disaster Management: A Community Model for Hazardous Material Management. pages 27–31, 1998.
- [CN00] U B Crespin and G Neff. *Handbuch der Sichtung*. Stumpf und Kossendey. Edeweicht, 2000.
- [Com93] L K Comfort. Integrating Information Technology into International Crisis Management and Policy. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 1(1): 15–26, 1993, [dx.doi.org/10.1111/j.1468-5973.1993.tb00003.x](https://doi.org/10.1111/j.1468-5973.1993.tb00003.x).

- [Cor09] T H Cormen. *Introduction to Algorithms*. MIT Press, 2009.
- [CSP92] A W Coburn, R J S Spence, and A Pomonis. Factors determining human casualty levels in earthquakes: mortality prediction in building collapse. In *Tenth World Conference on Earthquake Engineering*, pages 19–24, 1992.
- [Dav00] Simon Davis. Fire Fighting Water: A Review of Fire Fighting Water Requirements A New Zealand Perspective. 2000, [www.ir.canterbury.ac.nz/handle/10092/8346](http://www.ir.canterbury.ac.nz/handle/10092/8346).
- [DD95] W Domschke and A Drexel. *Einführung in Operations Research*. Springer-Lehrbuch. Springer, 3 edition, 1995.
- [DHS16] National Response Framework (NRF). 2016, [www.fema.gov/media-library/assets/documents/117791](http://www.fema.gov/media-library/assets/documents/117791).
- [Dij59] Edsger Wybe Dijkstra. A note on two problems in connection with graphs. *Numerische Mathematik*, 1: 269–271, 1959.
- [Dil98] Stuart M Dillon. Descriptive decision making: Comparing theory with practice. *Unpublished manuscript, Department of Management Systems, University of Waikato, New Zealand*, 1998, [orsnz.org.nz/conf33/papers/p61.pdf](http://orsnz.org.nz/conf33/papers/p61.pdf).
- [DIN02] DIN. DIN 13050:2002-09 - Begriffe im Rettungswesen, 2002.
- [DQ76] Russell R Dynes and Enrico Louis Quarantelli. Organizational communications and decision making in crises. Technical report, DTIC Document, 1976.
- [DS10] Wolfgang Domschke and Armin Scholl. *Logistik: Rundreisen und Touren*. Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2010.
- [DvM05] Mehdi Dastani, M van Birna Riemsdijk, and John-Jules Ch Meyer. Programming multi-agent systems in 3APL. In *Multi-agent programming*, pages 39–67. Springer, 2005.
- [EDX16] Emergency Data Exchange Language. 2016, [www.oasis-emergency.org](http://www.oasis-emergency.org).
- [EF09] H Engelmann and F Fiedrich. DMT-EOC-A combined system for the Decision Support and Training of EOC Members. In Landgren J. and Jul S., editors, *6 th International ISCRAM Conference*, Gothenburg, Sweden, 2009.
- [EG00] M. R. Endsley and D. J Garland. Theoretical underpinnings of situation awareness: A critical review. *Situation awareness analysis and measurement*, pages 3–32, 2000.
- [EJ73] Jack Edmonds and Ellis L Johnson. Matching, Euler tours and the Chinese postman. *Mathematical programming*, 5(1): 88–124, 1973.

- [Ell05] Taryn Elliott. Expert decision-making in naturalistic environments: A summary of research. Technical report, DEFENCE SCIENCE AND TECHNOLOGY ORGANISATION SALISBURY (AUSTRALIA) SYSTEMS SCIENCES LAB, 2005.
- [End88] Mica R Endsley. Design and evaluation for situation awareness enhancement. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, volume 32, pages 97–101. SAGE Publications, 1988.
- [ES03] Amal El Fallah-Seghrouchni and Alexandru Suna. Claim: A computational language for autonomous, intelligent and mobile agents. In *Programming Multi-Agent Systems*, pages 90–110. Springer, 2003.
- [Fel68] William Feller. *An introduction to probability theory and its applications*. Wiley, New York, 1968.
- [FEM99] FEMA (Federal Emergency Management Agency). *Hazus® 99 (SR2), Technical Manual*. Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., 1999.
- [FEM03] FEMA (Federal Emergency Management Agency). National Urban Search and Rescue (US&R) Response System, 2003.
- [FEM09] FEMA (Federal Emergency Management Agency). Multi-Hazard Loss Estimation Methodology Earthquake Model, HAZUS-MH MR4, Technical Manual, 2009.
- [FEM11] FEMA (Federal Emergency Management Agency). *Multi-hazard Loss Estimation Methodology, Earthquake Model, Hazus®-MH 2.0, Technical Manual*. 2011.
- [FG97] S Franklin and A Graesser. Is it an Agent, or just a Program?: A Taxonomy for Autonomous Agents. *LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE*, 1193: 21–36, 1997.
- [Fie04] F Fiedrich. *Ein High-Level-Architecture-basiertes Multiagentensystem zur Ressourcenoptimierung nach Starkbeben*. PhD thesis, Universität Karlsruhe (TH), 2004.
- [Fie06] F Fiedrich. An HLA-based multiagent system for optimized resource allocation after strong earthquakes. *Proceedings of the 37th conference on Winter simulation*, pages 486–492, 2006.
- [FIP02a] FIPA. FIPA Communicative Act Library Specification, 2002.
- [FIP02b] FIPA. FIPA SL Content Language Specification. *FOUNDATION FOR INTELLIGENT PHYSICAL AGENTS*, 2002, [www.fipa.org/specs/fipa00008/SC00008I.html](http://www.fipa.org/specs/fipa00008/SC00008I.html).
- [FIP16] FIPA. FIPA Standard. 2016, [www.fipa.org/repository/standardspecs.html](http://www.fipa.org/repository/standardspecs.html).

- [FLL<sup>+</sup>02] F. Fiedrich, J. Leebmann, D. Lungu, M. Markus, C. Schweier, and L. Stempniewski. EQSIM: A New Approach to Loss Estimation. In *Proceedings Volume, Int. Conference on Earthquake Loss Estimation and Risk Reduction*, Bucharest, 2002.
- [FLMS04] F. Fiedrich, J. Leebmann, M. Markus, and C. Schweier. EQSIM: A New Damage Estimation Tool for Disasters. *Proceedings of the International Conference "Disasters and Society - From Hazard Assessment to Risk Reduction"*, 26–27 July, pages 207–214, 2004.
- [Fow10] Martin Fowler. *Domain-Specific Languages*. Pearson Education, 2010.
- [Fra02] Fraunhofer. Studie: Marktanalyse Katastrophen-und Notfallmanagementsysteme. *Kaiserslautern*, 2002.
- [Fuj90] Richard M Fujimoto. Parallel discrete event simulation. *Communications of the ACM*, 33(10): 30–53, 1990.
- [FW04] David C Fallside and Priscilla Walmsley. XML Schema Part 0: Primer Second Edition. *World Wide Web Consortium Recommendation REC-xmlschema-0-20041028*. [www.w3.org/TR/2004/REC-xmlschema-0-20041028](http://www.w3.org/TR/2004/REC-xmlschema-0-20041028), 2004.
- [GC04] Dominic Greenwood and Monique Calisti. Engineering web service-agent integration. In *Systems, Man and Cybernetics, 2004 IEEE International Conference on*, volume 2, pages 1918–1925. IEEE, 2004.
- [GGW<sup>+</sup>05] Tia Gao, D Greenspan, M Welsh, R Juang, and A Alm. Vital Signs Monitoring and Patient Tracking Over a Wireless Network. In *Engineering in Medicine and Biology Society, 2005. IEEE-EMBS 2005. 27th Annual International Conference of the*, pages 102–105, jan 2005.
- [GH14] A Glatzmeier and H Hilgert. *Entscheidungen: Geistes- und sozialwissenschaftliche Beiträge zu Theorie und Praxis*. SpringerLink : Bücher. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014.
- [Gib86] James J. Gibson. *The Ecological Approach to Visual Perception*. Psychology Press, 1986.
- [GK05] Tim Grant and Bas Kooter. Comparing OODA & other models as Operational View C2 architecture Topic: C4ISR/C2 Architecture. *ICCRTS2005, Jun, 2005*, [re.vu/doc-download/bmkooter/176014/work\\_example-bas.kooter-comparingoodaabstract.285187.1350938508.pdf](http://re.vu/doc-download/bmkooter/176014/work_example-bas.kooter-comparingoodaabstract.285187.1350938508.pdf).
- [GLMS07] Dominic Greenwood, Margaret Lyell, Ashok Mallya, and Hiroki Suguri. The IEEE FIPA approach to integrating software agents and web services, 2007.
- [GO09] Martin Grebac and Others. JSR 222: Java(TM) Architecture for XML Binding (JAXB) 2.0, 2009.

- [GPS<sup>+</sup>08] Tia Gao, C Pesto, L Selavo, Yin Chen, JeongGil Ko, Jong Hyun Lim, A Terzis, A Watt, J Jeng, Bor-rong Chen, K Lorincz, and M Welsh. Wireless Medical Sensor Networks in Emergency Response: Implementation and Pilot Results. In *Technologies for Homeland Security, 2008 IEEE Conference on*, pages 187–192, 2008.
- [GR90] Charles F Goldfarb and Yuri Rubinsky. *The SGML handbook*. Oxford University Press, 1990.
- [GTM99] Robert J Glushko, Jay M Tenenbaum, and Bart Meltzer. An XML framework for agent-based E-commerce. *Communications of the ACM*, 42(3): 106–ff, 1999.
- [GW09] Jürgen Grosche and Michael Wunder. Grundlagen der Interoperabilität. In *Verteilte Führungsinformationssysteme*, pages 19–26. Springer, 2009.
- [Hae99] P Haettenschwiler. Neues anwenderfreundliches Konzept der Entscheidungsunterstützung. Gutes Entscheiden in Wirtschaft, Politik und Gesellschaft. *Zurich: Hochschulverlag AG*, pages 189–208, 1999.
- [HAZ16] HAZUS Website. 2016, [www.fema.gov/hazus/](http://www.fema.gov/hazus/).
- [Hel94] Jon C Helton. Treatment of Uncertainty in Performance Assessments for Complex Systems. *Risk Analysis*, 14(4): 483–511, 1994, [dx.doi.org/10.1111/j.1539-6924.1994.tb00266.x](https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.1994.tb00266.x).
- [HH00] J Heflin and J Hendler. Semantic Interoperability on the Web. 2000, [www.stormingmedia.us/53/5350/A535044.html](http://www.stormingmedia.us/53/5350/A535044.html).
- [HK10] Norbert Haala and Martin Kada. An update on automatic 3D building reconstruction. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65: 570–580, 2010.
- [HM15] Steffen Heinzl and Markus Mathes. *Middleware in Java: Leitfaden zum Entwurf verteilter Anwendungen-Implementierung von verteilten Systemen über JMS-Verteilte Objekte über RMI und CORBA*. Springer-Verlag, 2015.
- [Hof96] Eduard Hofer. Berücksichtigung von Modellunsicherheiten in Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen von Rechenmodellergebnissen. *Bundeminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit - BMU- Publications*, 1(463), 1996.
- [Hos05] Markus Hostmann. Decision Support for River Rehabilitation, 2005.
- [HR90] Barbara Hayes-Roth. Architectural foundations for real-time performance in intelligent agents. *Real-Time Systems*, 2(1-2): 99–125, 1990.
- [HRHR79] Barbara Hayes-Roth and Frederick Hayes-Roth. A cognitive model of planning. *Cognitive science*, 3(4): 275–310, 1979, [rauba1.ethz.ch/Courses/geog596/Hayes-Roth\\_cognitive\\_model\\_of\\_planning\\_79@2007-10-14T11:03:00.pdf](http://rauba1.ethz.ch/Courses/geog596/Hayes-Roth_cognitive_model_of_planning_79@2007-10-14T11:03:00.pdf).

- [HU07] Heinz-Dieter Hardes and Alexandra Uhly. *Grundzüge der Volkswirtschaftslehre*. Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2007.
- [IBM10] IBMLv2.0 Schema Files. 2010, [c4i.gmu.edu/pdfs/BML\\_Arch/IBMLschema-v2.0-31Jan10.zip](http://c4i.gmu.edu/pdfs/BML_Arch/IBMLschema-v2.0-31Jan10.zip).
- [IEE00a] IEEE 1516 - Standard for Modeling and Simulation High Level Architecture - Framework and Rules, 2000.
- [IEE00b] IEEE 1516.1 - Standard for Modeling and Simulation High Level Architecture - Object Model Template Specification, 2000.
- [IEE00c] IEEE 1516.2 - Standard for Modeling and Simulation High Level Architecture - Federate Interface Specification, 2000.
- [IEE06] IEEE. IEEE Standard for Common Traffic Incident Management Message Sets for Use by Emergency Management Centers, 2006.
- [IFA16] Naval Tactical Training. 2016, [www.ifad.dk/Products/INTS.aspx](http://www.ifad.dk/Products/INTS.aspx).
- [IH07] R Iannella and K Henricksen. Managing Information in the Disaster Coordination Centre: Lessons and Opportunities. In B Van de Walle, P Burghardt, and C Nieuwenhu, editors, *4th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management (ISCRAM)*, Delft, the Netherlands, 2007.
- [ILJ08] Shklovski Irina, Palen Leysia, and Sutton Jeannette. Finding community through information and communication technology in disaster response, 2008.
- [INT00] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 1131 - PROGRAMMABLE CONTROLLERS Part 7 - Fuzzy Control Programming. 2000.
- [ISO09] ISO. 9241-210: 2010. *Ergonomics of human system interaction-Part 210: Human-centred design for interactive systems*, 2009.
- [JA09] D Gehrke Jan and Schuldt Arne. Incorporating knowledge about interaction for uniform agent design for simulation and operation, 2009.
- [Jac98] Peter Jackson. *Introduction to Expert Systems*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA, 3rd edition, 1998.
- [JEX10] John Jakeman, Michael Eldred, and Dongbin Xiu. Numerical approach for quantification of epistemic uncertainty. *Journal of Computational Physics*, 229(12): 4648–4663, 2010, [www.sciencedirect.com/science/article/B6WHY-4YM7FRC-1/2/4dd64b16ceaef199ff2c8545106ea6e6](http://www.sciencedirect.com/science/article/B6WHY-4YM7FRC-1/2/4dd64b16ceaef199ff2c8545106ea6e6).
- [JGW01] A Jaber, F Guarnieri, and J L Wybo. Intelligent Software Agents for Forest Fire Prevention and Fighting. *Safety Science*, 39(1-2): 3–17, 2001.

- [JM04] S Jain and C R McLean. An Architecture for Integrated Modeling and Simulation for Emergency Response. *Proceedings of the 2004 Industrial Engineering Research Conference May*, pages 15–19, 2004.
- [JM06] S Jain and C McLean. An Integrating Framework for Modeling and Simulation for Incident Management. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, 3(1), 2006.
- [Kah02] Daniel Kahneman. Maps of bounded rationality: A perspective on intuitive judgment and choice. *Nobel prize lecture*, 8: 351–401, 2002, [down.cenet.org.cn/upfile/58/2005419105516174.pdf](http://down.cenet.org.cn/upfile/58/2005419105516174.pdf).
- [Kat99] Führung und Leitung im Einsatz - Führungssystem (DV100). 1999, [gsb.download.bva.bund.de/BBK/KatS\\_Dv\\_100.pdf](http://gsb.download.bva.bund.de/BBK/KatS_Dv_100.pdf).
- [KB84] R Kirchhoff and R Bedacht. *Triage im Katastrophenfall, Notfallmedizin Bd. 9*. Katastrophenhilfe. Erlangen, perimed Fachbuch-Verlagsgesellschaft mbH, 1984.
- [KCCC86] Gary A Klein, Roberta Calderwood, and Anne Clinton-Cirocco. Rapid decision making on the fire ground. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society annual meeting*, volume 30, pages 576–580. SAGE Publications, 1986.
- [KCM89] Gary A Klein, Roberta Calderwood, and Donald Macgregor. Critical decision method for eliciting knowledge. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics*, 19(3): 462–472, 1989.
- [KG81] Stanley Kaplan and B John Garrick. On the quantitative definition of risk. *Risk analysis*, 1(1): 11–27, 1981.
- [KGK95] R Kruse, J Gebhardt, and F Klawonn. *Fuzzy-Systeme, 2. Überarbeitete Auflage, Leitfäden der Informatik*, Teubner, Stuttgart, 1995.
- [Kin81] Paul Kingston. Generic decision support systems. *Managerial Planning*, 29(5): 7–11, 1981.
- [KIT15] KIT. RODOS System, 2015.
- [KK91] G Klein and D Klinger. Naturalistic Decision Making. *Human Systems IAC Gateway*, XI, 1991.
- [KKG13] R Kruse, F Klawonn, and J Gebhardt. *Fuzzy-Systeme. XLeitfäden der Informatik*. Vieweg+Teubner Verlag, 2013.
- [Kle89] G. A. Klein. Recognition-primed decisions. In W. B. Rouse, editor, *Advances in Man-Machine System Research*, volume 5, pages 47–92, Greenwich, 1989. JAI Press, Inc.
- [Kle98] G Klein. *Sources of power*. Mit Press Cambridge, MA., London, England, 1998.
- [Kle01] Ulrich Klein. *Verteilte Simulation im ausnahmetoleranten städtischen Verkehrsmanagement*. LOGISCH, 2001.

- [Kno00] Karl-Heinz Knorr. *Die Gefahren der Einsatzstelle*, volume 7., überar. Stuttgart ; Berlin ; Köln : Kohlhammer, 2000.
- [Kol14] J Kolodner. *Case-Based Reasoning*. Elsevier Science, 2014.
- [Koo98] Peter Koob, editor. *Australian Emergency Manuals Series - Manual 3*. Emergency Management Australia, Canberra, 1998.
- [KOT<sup>+</sup>09] D Kunde, T Orichel, Andreas Tolk, Ulrich Schade, and Michael R Hieb. Harmonizing BML Approaches: grammars and data models for a BML standard. In *2009 Spring Simulation Interoperability Workshop*, 2009.
- [KPA02] Deborah H Kim, Pamela W Proctor, and Linda K Amos. Disaster management and the emergency department: a framework for planning. *Nursing Clinics of North America*, 37(1): 171–188, 2002.
- [KRS<sup>+</sup>09] Christophe Kunze, David Rodriguez, Layal Shammass, Ashok-Kumar Chandra-Sekaran, and Benedikt Weber. Nutzung von Sensornetzwerken und mobilen Informationsgeräten für die Situationserfassung und die Prozessunterstützung bei Massenunfällen von Verletzten. In *GI Jahrestagung*, pages 1465–1478, 2009.
- [LBH15] Yann LeCun, Yoshua Bengio, and Geoffrey Hinton. Deep learning. *Nature*, 521(7553): 436–444, 2015.
- [Lei03] J A Leite. *Evolving Knowledge Bases: Specification and Semantics*. Frontiers in artificial intelligence and applications. IOS Press, 2003.
- [Lip06a] Wolfram-Manfred Lippe. Fuzzy-Systeme. In *Soft-Computing: mit Neuronalen Netzen, Fuzzy-Logic und Evolutionären Algorithmen*, pages 245–352. Springer Berlin Heidelberg, 2006.
- [Lip06b] Wolfram-Manfred Lippe. *Soft-Computing: mit Neuronalen Netzen, Fuzzy-Logic und Evolutionären Algorithmen*. eXamen.press. Springer Berlin Heidelberg, 2006.
- [LOM10] Y T Lee, S O’Hara, and C McLean. Modeling and Simulation for Emergency Management and Health Care Systems: Workshop Summary. Technical report, 2010.
- [LRFA01] Y Liang, F Robichaud, B Fugere, and K Ackles. Implementing a Naturalistic Command Agent Design, 2001.
- [LSSH07] V Lakshmanan, T Smith, G Stumpf, and K Hondl. The warning decision support system-integrated information. *Weather and Forecasting*, 22(3): 596–612, 2007.
- [LUE15] LÜKEX - Krisenspiel für den Bevölkerungsschutz in Deutschland. 2015, [www.bbk.bund.de/DE/AufgabenundAusstattung/Krisenmanagement/Luekex/TT\\_Luekex\\_ueberblick.html](http://www.bbk.bund.de/DE/AufgabenundAusstattung/Krisenmanagement/Luekex/TT_Luekex_ueberblick.html).
- [Mag01] Martin Maguire. Methods to support human-centred design. *International journal of human-computer studies*, 55(4): 587–634, 2001.

- [Mai13] K Mainzer. *Computernetze und virtuelle Realität: Leben in der Wissensgesellschaft*. Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [Mam74] Ebrahim H Mamdani. Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. *Electrical Engineers, Proceedings of the Institution of*, 121(12): 1585–1588, 1974.
- [Map] Applying MapCalc Map Analysis Software. [www.innovativegis.com/basis/Senarios/Fire\\_response\\_senario.htm](http://www.innovativegis.com/basis/Senarios/Fire_response_senario.htm).
- [MB03] M Molina and G Blasco. A multi-agent system for emergency decision support. *LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE*, 2690: 43–51, 2003.
- [MBW01] D Mendonca, G E G Beroggi, and W A Wallace. Decision support for improvisation during emergency response operations. *International Journal of Emergency Management*, 1(1): 30–38, 2001.
- [McL85] D McLoughlin. A framework for integrated emergency management. *Public Administration Review*, 45: 165–172, 1985.
- [MFL<sup>+</sup>04] M Markus, F Fiedrich, J Leebmann, C Schweier, and E Steinle. Concept for an integrated Disaster Management Tool. *Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, BC, Canada, Paper*, 2004.
- [MIP12] The Joint C3 Information Exchange Data Model (JC3IEDM Main) V3.1.4. 2012, [mipsite.lsec.dnd.ca/PublicDocumentLibrary/04-Baseline\\_3.1/Interface-Specification/JC3IEDM/JC3IEDM-Main-3.1.4.pdf](http://mipsite.lsec.dnd.ca/PublicDocumentLibrary/04-Baseline_3.1/Interface-Specification/JC3IEDM/JC3IEDM-Main-3.1.4.pdf).
- [MIS<sup>+</sup>12] T Mizumoto, S Imazu, Weihua Sun, N Shibata, and K Yasumoto. Emergency medical support system for visualizing locations and vital signs of patients in Mass Casualty Incident. In *Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), 2012 IEEE International Conference on*, pages 740–745, 2012.
- [MJL08] C R McLean, S Jain, and Y T Lee. A Taxonomy of Homeland Security Modeling, Simulation, and Analysis Applications. 2008.
- [MLR<sup>+</sup>02] A Meissner, T Luckenbach, T Risse, T Kirste, and H Kirchner. Design Challenges for an Integrated Disaster Management Communication and Information System. volume 24, 2002.
- [MLR<sup>+</sup>06] Candra Meirina, Georgiy M Levchuk, Sui Ruan, Krishna R Pattipati, and Robert L Popp. Normative framework and computational models for simulating and assessing command and control processes. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 14(4): 454–479, 2006.
- [MM04] C Siva Ram Murthy and B S Manoj. *Ad hoc wireless networks: Architectures and protocols, portable documents*. Pearson education, 2004.

- [MSR01] Gerhard Matz, Alfred Schillings, and Peer Rechenbach. *Task Force für die Schnellanalytik bei großen Chemieunfällen und Bränden; Oktober 2001*. Bundesverwaltungsamt, Zentralstelle für Zivilschutz, 2001.
- [Mur02] Turoff Murray. Past and future emergency response information systems. *Commun. ACM*, 45(4): 29–32, 2002.
- [Mur07] E Jennex Murray. Modeling Emergency Response Systems. In *Proceedings of the 40th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*. IEEE Computer Society, 2007.
- [NAT01] NATO. *NATO Handbook*. NATO, Brussels, Belgium, 2001.
- [Ney97] David L Neyland. *Virtual combat: A guide to distributed interactive simulation*. Stackpole Books, 1997.
- [NFM07] I Nižeti, K Fertalj, and B Milašinovi. An Overview of Decision Support System Concepts. In *Proceedings of the 18th International Conference on Information and Intelligent Systems*, Varaždin, 2007.
- [Ngu05] Xuan Thang Nguyen. Demonstration of WS2JADE. In *Proceedings of the fourth international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems*, pages 135–136. ACM, 2005.
- [Nun14] Ingrid Nunes. *Engineering Multi-Agent Systems: Second International Workshop, EMAS 2014, Paris, France, May 5-6, 2014, Revised Selected Papers*, chapter Improving, pages 58–80. Springer International Publishing, Cham, 2014.
- [Nwa96] Hyacinth S Nwana. Software agents: An overview. *The knowledge engineering review*, 11(03): 205–244, 1996.
- [OAS16] Organization for the Advancement of Structured Information Standards. 2016, [www.oasis-open.org/committees/emergency](http://www.oasis-open.org/committees/emergency).
- [Ogd04] M Ogden. Guide to the IEEE 1512 Family of Standards. 2004.
- [OGSC10] Oduor Erick Nelson Otieno, Anna Gryszkiewicz, Nihal Siriwardanegea, and Fang Chen. Concept for Intelligent Integrated System for Crisis Management. In *Proceedings of the 7th International ISCRAM Conference–Seattle*, volume 1. Citeseer, 2010.
- [OK12] Michael J. Olsen and Robert Kayen. *Post-Earthquake and Tsunami 3D Laser Scanning Forensic Investigations*, chapter 51, pages 477–486. 2012.
- [ON05] A H J Oomes and R M Neef. Scaling-up support for emergency response organizations. *Proceedings of ISCRAM 2005*, pages 29–41, 2005, [mmi.tudelft.nl/~stijn/collaboration/ISCRAM2005OomesNeef.pdf](http://mmi.tudelft.nl/~stijn/collaboration/ISCRAM2005OomesNeef.pdf).
- [Ora16a] Oracle. Java SE at a Glance. 2016, [www.oracle.com/technetwork/java/javase/overview/index.html](http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/overview/index.html).

- [Ora16b] Oracle. Java(TM) Virtual Machine Technology. 2016, [docs.oracle.com/javase/6/docs/technotes/guides/vm/index.html](https://docs.oracle.com/javase/6/docs/technotes/guides/vm/index.html).
- [Osi05] Frans Osinga. *Science, Strategy and War*. Delft, The Netherlands: Eburon Academic Publishers. Retrieved from [opmexperts.com/OsingaBoydThesis.pdf](https://opmexperts.com/OsingaBoydThesis.pdf), 2005.
- [Ott01] N Ott. *Unsicherheit, Unschärfe und rationales Entscheiden: Die Anwendung von Fuzzy-Methoden in der Entscheidungstheorie*. Physica-Verlag, 2001.
- [PBJ13] Alexander Pokahr, Lars Braubach, and Kai Jander. The Jadex Project: Programming Model. In *Multiagent Systems and Applications*, pages 21–53. Springer, 2013.
- [Pet85] W J Petak. Emergency management: A challenge for public administration. *Public Administration Review*, 45: 3–7, 1985.
- [PF99] D Paton and R Flin. Disaster stress: an emergency management perspective. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 8(4): 261–267, 1999.
- [PG97] Pu Pearl and Melissargos George. Visualizing Resource Allocation Tasks. *IEEE Comput. Graph. Appl.*, 17(4): 6–9, 1997, [dx.doi.org/10.1109/38.595258](https://dx.doi.org/10.1109/38.595258).
- [Pit16] Pitch. Pitch pRTI. 2016, [www.pitchtechnologies.com/products/prti/](http://www.pitchtechnologies.com/products/prti/).
- [Plo64] E G Plowman. *Lectures on elements of business logistics*. Stanford University, Graduate School of Business, 1964.
- [Pol09] Marko Polič. Decision making: Between rationality and reality. *Interdisciplinary Description of Complex Systems*, 7(2): 78–89, 2009.
- [Por16] The poRTIco Project. 2016, [www.porticoproject.org/](http://www.porticoproject.org/).
- [Pos03] B. Post. *Die Notfallhilfe bei Unfällen und Katastrophen - Medizinische Hilfe bei Unfällen und Katastrophen in Belgien, Deutschland und den Niederlanden*. ITS, Stichting Katholieke Universiteit te Nijmegen, Nijmegen, 2003.
- [Pow07] D J Power. A Brief History of Decision Support Systems (version 4.1). Version 4, 2007, [www.dssresources.com/history/dsshistory.html](http://www.dssresources.com/history/dsshistory.html).
- [Pro] ProDV. Systeme im Bevölkerungsschutz. [www.prodv.de/index.php/bevoelkerungsschutz.html](http://www.prodv.de/index.php/bevoelkerungsschutz.html).
- [PS97] Andrea L Patalano and Colleen M Seifert. Opportunistic Planning: Being Reminded of Pending Goals. *Cognitive Psychology*, 34(1): 1–36, 1997.

- [RCO04] Robert Ross, Rem Collier, and Gregory M P O'Hare. AF-APL - bridging principles and practice in agent oriented languages. In *Programming Multi-Agent Systems*, pages 66–88. Springer, 2004.
- [RDPJ07] Alex Rogers, Esther David, Terry R Payne, and N R Jennings. An Advanced Bidding Agent for Advertisement Selection on Public Displays. In *Sixth International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS-07)*, pages 251–258, Honolulu, Hawaii, USA, 2007. [eprints.ecs.soton.ac.uk/13263/](http://eprints.ecs.soton.ac.uk/13263/).
- [Reb89] Arthur S Reber. Implicit learning and tacit knowledge. *Journal of experimental psychology: General*, 118(3): 219, 1989.
- [Ree93] Colin R Reeves, editor. *Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA, 1993.
- [Reh07] M Rehor. Classification of building damages based on laser scanning data. *The Photogrammetric Journal of Finland*, 20(2): 54–63, 2007, [www.foto.hut.fi/ls2007/final\\_papers/Rehor\\_2007.pdf](http://www.foto.hut.fi/ls2007/final_papers/Rehor_2007.pdf).
- [Res08] Peter W Resnick. RFC 5322: Internet Message Format. *Technical report, The Internet Engineering Task Force*, 2008.
- [RGL<sup>+</sup>02] J Rosen, E Grigg, J Lanier, S McGrath, S Lillibridge, D Sargent, and C E Koop. The future of command and control for disaster response. *Engineering in Medicine and Biology Magazine, IEEE*, 21(5): 56–68, 2002.
- [RGO95] Anand S Rao, Michael P Georgeff, and Others. BDI agents: From theory to practice. In *ICMAS*, volume 95, pages 312–319, 1995.
- [Ric98] U Rickers. *Modellbasiertes Ressourcenmanagement für die Rettungsphase in Erdbebengebieten*. PhD thesis, Karlsruhe, 1998.
- [Ric01] Chet Richards. Boyd's OODA loop. *Slideshow*, 2001, [www.jvminc.com/boydsrealooda\\_loop.pdf](http://www.jvminc.com/boydsrealooda_loop.pdf).
- [RKS<sup>+</sup>98] R Bryan Reynolds, S Kumara, Goutam Satapathy, Glen Smith, and John R Hummel. Distributed Intelligent Agents for Logistics (DIAL). In *Proceedings of the 1998 Spring Simulation Interoperability Workshop*, 1998.
- [RLMM09] Rick Rogers, John Lombardo, Zigurd Mednieks, and Blake Meike. *Android application development: Programming with the Google SDK*. O'Reilly Media, Inc., 2009.
- [RN04] Stuart Russell and Peter Norvig. *Künstliche Intelligenz: Ein moderner Ansatz*. 2004.
- [RNP<sup>+</sup>04] Stewart Robinson, Richard E Nance, Ray J Paul, Michael Pidd, and Simon J E Taylor. Simulation model reuse: definitions, benefits and obstacles. *Simulation modelling practice and theory*, 12(7): 479–494, 2004.

- [RX04] A Z Ren and X Y Xie. The simulation of post-earthquake fire-prone area based on GIS. *Journal of fire sciences*, 22(5): 421–439, 2004.
- [Saa08] T L Saaty. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1): 83–98, 2008.
- [Sca09] Charles Scawthorn. Enhancements in HAZUS-MH, Fire Following Earthquake Task 3: Updated Ignition Equation. *SPA Risk LLC, Berkeley CA. Principal Investigator C. Scawthorn. Prepared for PBS&J and the National Institute of Building Sciences, San Francisco, (10010-01), 2009.*
- [Sch82] Paul E Schindler Jr. For End Users, Application Generators Hold Great Promise. *Information Systems News Software Foots*, 5: 219–223, 1982.
- [Sch95] Paul J H Schoemaker. Scenario planning: a tool for strategic thinking. *Sloan management review*, 36(2): 25, 1995.
- [Sch13] B Schiemenz. *Regelungstheorie und Entscheidungsprozesse: Ein Beitrag zur Betriebskybernetik*. Betriebswirtschaftliche Beiträge zur Organisation und Automation. Gabler Verlag, 2013.
- [Sec04] U. S. Department of Homeland Security. Department of Homeland Security Secretary Tom Ridge Approves National Incident Management System (NIMS), 2004.
- [SES05] Charles Scawthorn, John M Eiding, and Anshel J Schiff. *Fire following earthquake*. ASCE Publications, 2005.
- [SHKS99] Anurag Srivastava, Eui-Hong Han, Vipin Kumar, and Vineet Singh. *Parallel formulations of decision-tree classification algorithms*. Springer, 1999.
- [Sim55] Herbert A Simon. A behavioral model of rational choice. *The quarterly journal of economics*, pages 99–118, 1955.
- [Sjö03] Lennart Sjöberg. Intuitive vs. analytical decision making: which is preferred? *Scandinavian Journal of Management*, 19(1): 17–29, 2003.
- [SKK03] Wörterbuch des Zivil- und Katastrophenschutzes. Köln, 2003. Ständige Konferenz für Katastrophenvorsorge und Katastrophenschutz, [www.lv-saarland.drk.de/fileadmin/user\\_upload/Wo%CC%88rterbuch\\_KatS.pdf](http://www.lv-saarland.drk.de/fileadmin/user_upload/Wo%CC%88rterbuch_KatS.pdf).
- [SKY<sup>+</sup>04] Ying Su, Feng-ju Kang, Jin-tun Yan, Yu-min Ma, and Bin Cai. Research on HLA-Compliant Underwater Warfare Simulation system. *Acta Simulata Systematica Sinica*, 12: 29, 2004.
- [SM06] Christine Schweier and Michael Markus. Classification of Collapsed Buildings for Fast Damage and Loss Assessment. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 4: 177–192, 2006, [dx.doi.org/10.1007/s10518-006-9005-2](https://doi.org/10.1007/s10518-006-9005-2).

- [SM08] Christine Schweier and Michael Markus. Expert and information systems for technical SAR measures and buildings' state evaluation. *Natural Hazards*, 2008, [dx.doi.org/10.1007/s11069-008-9294-7](https://doi.org/10.1007/s11069-008-9294-7).
- [SN04] R Sun and I Naveh. Simulating organizational decision-making using a cognitively realistic agent model. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 7(3): 45–68, 2004.
- [Sok03] J A Sokolowski. Enhanced decision modeling using multiagent system simulation. *SIMULATION*, 79(4): 232, 2003.
- [SPS08] J Sutton, L Palen, and I Shklovski. Backchannels on the front lines: Emergent uses of social media in the 2007 southern California wildfires, 2008.
- [SR15] R Stair and G Reynolds. *Principles of Information Systems*. Cengage Learning, 12 edition, 2015.
- [SS09] Robin Spence and Emily So. Estimating shaking-induced casualties and building damage for global earthquake events. *Cambridge: National Earthquake Hazards Reduction Program*, 2009.
- [SSH03] S Strassburger, G Schmidgall, and S Haasis. Distributed Manufacturing Simulation as an Enabling Technology for the Digital Factory. *JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING SYSTEMS*, 2(1): 111–126, 2003.
- [Str03] Steffen Straßburger. HLA als Basis eines Simulationsbackbones für die Digitale Fabrik. In *Proceedings of the 17th Symposium Simulationstechnik (ASIM 2003)*, Magdeburg, pages 355–360, 2003.
- [Sug85] Michio Sugeno. An introductory survey of fuzzy control. *Information sciences*, 36(1): 59–83, 1985.
- [SWS07] Anoop Singhal, Theodore Winograd, and Karen Scarfone. Guide to secure web services. *NIST Special Publication*, 800(95): 4, 2007.
- [Tah88] Hamdy A Taha. *Simulation modeling and SIMNET*. Prentice-Hall, Inc., 1988.
- [TBMM04] Henry S Thompson Thompson, Beech David Beech, Murray Maloney, and Noah Mendelsohn. XML Schema Part 1: Structures Second Edition. *World Wide Web Consortium Recommendation REC-xmlschema-1-20041028*, 2004, [www.w3.org/TR/2004/REC-xmlschema-1-20041028](http://www.w3.org/TR/2004/REC-xmlschema-1-20041028).
- [Tel16] Telecom Italia. JADE - JAVA Agent DEvelopment Framework. 2016, [jade.tilab.com](http://jade.tilab.com).
- [tH03] E C ten Hoeve. *3APL Platform*. PhD thesis, Utrecht, 2003.
- [THH<sup>+</sup>03] Jennifer Tichon, R H Hall, Michael G Hilgers, Ming Leu, and Sanjeev Agarwal. Education and training in virtual environments for disaster

- management. In *Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia, & Telecommunications (EdMedia)*, pages 1191–1194, 2003.
- [THP09] A Torii, M Havlena, and T Pajdla. From Google Street View to 3D city models. In *Computer Vision Workshops (ICCV Workshops), 2009 IEEE 12th International Conference on*, pages 2188–2195, sep 2009.
- [THW05] Ron Ten-Hove and Peter Walker. Java Business Integration (JBI) 1.0. *Java Specification Request*, 208, 2005.
- [TK07] Anisya Thomas and Laura Rock Kopczak. Life-Saving Supply Chains. In Hau L Lee and Chung-Yee Lee, editors, *Building Supply Chain Excellence in Emerging Economies*, volume 98, pages 93–111. Springer US, 2007.
- [TKT<sup>+</sup>00] S Tadokoro, H Kitano, T Takahashi, I Noda, H Matsubara, A Shinjoh, T Koto, I Takeuchi, H Takahashi, F Matsuno, M Hatayama, J Nobe, and S Shimada. The Robocup-Rescue Project: A Robotic Approach to the Disaster Mitigation Problem. *International Conference on Robotics and Automation*, 2000.
- [U. 16] U. S. Department of Homeland Security. Homeland Security Standards Database. 2016, [www.hssd.us](http://www.hssd.us).
- [Ull11] Christian Ullenboom. *Java ist auch eine Insel: Das umfassende Handbuch*. Galileo Press, 2011.
- [UN 92] UN DHA. Internationally agreed glossary of basic terms related to disaster management. *UN DHA (United Nations Department of Humanitarian Affairs)*, Geneva, 1992.
- [Unb08] Heinz Unbehauen. Grundlagen der Fuzzy-Regelung. In *Regelungstechnik I*, pages 337–368. Vieweg+Teubner, 2008.
- [UÖK09] Özer Uygun, Ercan Öztemel, and Cemalettin Kubat. Scenario based distributed manufacturing simulation using HLA technologies. *Information Sciences*, 179(10): 1533–1541, 2009.
- [VBP08] Dag K J E Von Lubitz, James E Beakley, and Frederic Patricelli. Disaster management: the structure, function, and significance of network-centric operations. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, 5(1), 2008.
- [VH03] László Zsolt Varga and Ákos Hajnal. Engineering web service invocations from agent systems. In *Multi-Agent Systems and Applications III*, pages 626–635. Springer, 2003.
- [Vir16] Virtual Fires. 2016, [www.virtual-fires.de/](http://www.virtual-fires.de/).
- [VKK08] Laura Vasilescu, Asmatullah Khan, and Himayatullah Khan. Disaster Management CYCLE—a theoretical approach. *Management & Marketing-Craiova*, (1): 43–50, 2008.

- [vOZF06] P van Oosterom, S Zlatanova, and E Fendel. *Geo-information for Disaster Management*. Springer Science & Business Media, 2006.
- [War89] John J Warwick. Interplay between parameter uncertainty and model aggregation error. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 25(2): 275–283, 1989.
- [WCL<sup>+</sup>05] Sanjiva Weerawarana, Francisco Curbera, Frank Leymann, Tony Storey, and Donald F Ferguson. *Web Services Platform Architecture: SOAP, WSDL, WS-Policy, WS-Addressing, WS-BPEL, WS-Reliable Messaging and More*. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, USA, 2005.
- [WDS16] WDSS-II Links. 2016, [www.cimms.ou.edu/~lakshman/WDSSII/links.shtml](http://www.cimms.ou.edu/~lakshman/WDSSII/links.shtml).
- [Wer07] Stefan Werder. Knowledge Representation for disaster management. In *Proc. of International Symposium on Strong Vrancea Earthquakes and Risk Mitigation*, Bucharest, Romania, 2007.
- [Wik15] Wikipedia. Wikipedia - Tooltip. 2015, [de.wikipedia.org/wiki/Tooltip](http://de.wikipedia.org/wiki/Tooltip).
- [WJ06] G Weiß and R Jakob. *Agentenorientierte Softwareentwicklung: Methoden und Tools*. Xpert.press. Springer Berlin Heidelberg, 2006.
- [Woo02] M Wooldridge. *An Introduction to Multiagent Systems*. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA, 2002.
- [Wor95] World Health Organization. Coping with major emergencies: WHO strategy and approaches to humanitarian action. Division of Emergency and Humanitarian Action, Geneva. Technical report, WHO/EHA/95.1, 1995.
- [Wor07] World Wide Web Consortium. Simple object access protocol (SOAP). 2007, [www.w3.org/TR/soap/](http://www.w3.org/TR/soap/).
- [Wor15] Workflow Management Coalition. XML Process Definition Language (XPDL). 2015, [www.xpdl.org](http://www.xpdl.org).
- [WWG93] Richard M Weatherly, Annette L Wilson, and Sean P Griffin. ALSP - theory, experience, and future directions. In *Proceedings of the 25th conference on Winter simulation*, pages 1068–1072. ACM, 1993.
- [YFS<sup>+</sup>06] J Yen, X Fan, S Sun, T Hanratty, and J Dumer. Agents with shared mental models for enhancing team decision makings. *Decision Support Systems*, 41(3): 634–653, 2006.
- [Zad65] L Zadeh. Fuzzy Sets. *Information and Control* 8, pages 338–353, 1965.
- [Zad72] Lofti A Zadeh. A rationale for fuzzy control. *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, 94(1): 3–4, 1972.

- [ZG07] T Zikas and F Gehbauer. Decision process and optimisation rules for seismic retrofit programs. *Proceedings of the International Symposium on Strong Vrancea Earthquakes and Risk Mitigation*, pages 472–484, 2007.
- [Zim13] H J Zimmermann. *Fuzzy Technologien: Prinzipien, Werkzeuge, Potentiale*. VDI-Buch. Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [ZMS00] A Ziegler, H Mucska, and B Schalko. Unfälle mit gefährlichen Stoffen: Feuerwehreinsatz und medizinische Erstversorgung. In Gerhard Aigner, editor, *Notfallmedizin : Leitfaden für Notärzte*, Wien; München; Bern;Maudrich, 2000. Fitzal, Sylvia, [www.dgkm.org/files/downloads/ziegler\\_gefaehrliche\\_stoffe/Feuerwehreinsatz\\_und\\_medizinische\\_Erstversorgung.pdf](http://www.dgkm.org/files/downloads/ziegler_gefaehrliche_stoffe/Feuerwehreinsatz_und_medizinische_Erstversorgung.pdf).
- [ZW84] D Zakay and S Wooler. Time pressure, training and decision effectiveness. *Ergonomics*, 27(3): 273–284, 1984.