

# **Unterstützung bei Ortungseinsätzen in Trümmern durch digitale Informationsverwaltung**

**Quirin Hamp**

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der  
Technischen Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität  
Freiburg im Breisgau

Lehrstuhl für Elektrische Mess- und Prüfverfahren  
Institut für Mikrosystemtechnik  
Technische Fakultät  
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Freiburg, Oktober 2016



---

**ALBERT-LUDWIGS-  
UNIVERSITÄT FREIBURG**

---

Eingereichte Doktorarbeit gemäß den Bestimmungen der Promotionsordnung der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg für die Technische Fakultät vom 10. Mai 2000.

Institut für Mikrosystemtechnik (IMTEK)  
Lehrstuhl für Elektrische Mess- und Prüfverfahren  
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Freiburg im Breisgau

<b>Autor</b>	Quirin Rudolf Hamp quirin.hamp@centraliens.net
<b>Datum</b>	6. Oktober 2016
<b>Dekan</b>	Prof. Dr. Georg Lausen
<b>Gutachter</b>	Prof. Dr. L.M. Reindl, Lehrstuhl für Elektrische Mess- und Prüfverfahren, IMTEK, Universität Freiburg Prof. Dr. G. Müller, Institut für Informatik und Gesellschaft, Universität Freiburg Prof. Dr. B. Nebel, Arbeitsgruppe für Grundlagen der Künstlichen Intelligenz, Institut für Informatik, Universität Freiburg Prof. Dr. R. Koch, Computeranwendung und Integration in Konstruktion und Planung, Universität Paderborn Prof. Dr. C. Ament, Lehrstuhl für Regelungstechnik in der Ingenieurinformatik, Universität Augsburg
<b>Betreuer</b>	Prof. Dr. L.M. Reindl, Lehrstuhl für Elektrische Mess- und Prüfverfahren, IMTEK, Universität Freiburg

# Kurzfassung

Im Rahmen eines Ortungseinsatzes sind eine Vielzahl von Entscheidungen zu treffen, um ein effizientes Vorgehen von Einsatzkräften zur Rettung von Opfern zu ermöglichen. Diese interdisziplinäre Arbeit mit technischem Fokus hat zum Ziel, durch digitale Unterstützung der Entscheidungsträger, die Effizienz solcher Einsätze zu steigern, vor allem bei der Suche nach Verschütteten in Trümmern. Dieses Thema wurde in zwei Unterthemen gegliedert.

Beim ersten Unterthema handelt es sich um den Ortungseinsatz selbst. Dem Ziel der Effizienzsteigerung von Ortungseinsätzen begegnet diese Arbeit aus der Perspektive der Informationsverwaltung. Die erarbeiteten Lösungsansätze zielen darauf ab, das Informationsdefizit zu verkleinern und eine Überforderung durch Informationsflut zu verhindern. Beide Effekte behindern objektive Entscheidungen, die zur Verbesserung der Rettung von Verschütteten beitragen.

Entscheidungen sollen deshalb mit standardisierter Erfassung, Verarbeitung und Darstellung von Informationen unterstützt werden. Diese Unterstützung stellt das zweite Unterthema dar. Da der Erfolg bei der Suche nach Verschütteten meist davon abhängt, ob das Opfer auf sich selbst aufmerksam machen kann, wurden im Rahmen des I-LOV-Projektes (I-LOV steht für „Intelligentes sicherndes Lokalisierungssystem für die Rettung und Bergung von Verschütteten“), in das sich diese Arbeit eingliedert, neue technische Ortungsmethoden entwickelt. Der Einsatz dieser Methoden soll es den Einsatzkräften ermöglichen, auch bewusstlose Opfer zu erkennen. Sie ergänzen somit die Ortung mit Suchhunden, die die bisher einzige Methode zum Auffinden von bewusstlosen Opfern darstellte. Die Ergebnisse, die mit neuen Suchmethoden generiert werden können, erfordern eine angepasste Auswertung, da sie oftmals komplexer sind. Um Ortungseinsätze sinnvoll zu koordinieren, erfordert diese Auswertung mehr Aufmerksamkeit vom Entscheidungsträger. Eine der Prämissen dieser Arbeit ist der Bedarf an digitaler Informationsverwaltung, um den Informationsfluss zu bewältigen und objektive Auswertungen unter anderem von Ortungsergebnissen durchzuführen.

Nach dem aktuellen Stand der Technik bezüglich der digitalen Unterstützung von Ortungseinsätzen gibt es zwar außerhalb von Siedlungen oder im Meer Lösungen für die Vermisstensuche, deren Funktionsumfang jedoch der Verschüttetensuche nicht angepasst ist. Es sind vor allem die Vorgehensweise bei der Suche, der stationäre Charakter und die Unauffindbarkeit von Verschütteten mit Hilfe optischer Systeme, die die Trümmersuche charakterisieren. In den Grundlagen zu Ortungseinsätzen werden neben deren standardisiertem Ablauf die Ortungsmethoden beschrieben. Diese werden in Detektions-, Lokalisierungs- und Verifikationsmethoden unterschieden.

Da der Ansatz zur Entscheidungsunterstützung in dieser Arbeit auf einer digitalen Verarbeitung basiert, bedarf es eines verteilten Informationssystems, das eine persistente Erfassung von vor allem ungewissen Informationen erlaubt. Die Erarbeitung der Anforderungen, die Endnutzern an solch ein IT-System stellen, erfolgte unter anderem in einer eigens für diese Arbeit durchgeführten, bundesweiten Umfrage. An dieser beteiligten sich circa fünfzehn Prozent aller deutschen Ortungskräfte. Diese Anforderungen werden in dieser Arbeit in Spezifikationen festgehalten.

Um den Nutzen dieser Spezifikationen evaluieren zu können, wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Demonstrator-IT-System entwickelt. Die Besonderheit dieses neu entwi-

ckelten IT-Systems liegt in der Verschiebung der Informationserfassung von der Führungsstelle zur Einsatzkraft vor Ort. Um dies zu gewährleisten, benötigt die Einsatzkraft ein digitales Informationserfassungsgerät, das die Ortung und Rettung von Verschütteten fördert. Die Software-Anwendung für solch ein tragbares Gerät wurde entwickelt und erprobt. Außerdem ist eine digitale Kommunikationsinfrastruktur notwendig, die eine stete Übermittlung von vor Ort erfasster Informationen ermöglicht. Solch eine Infrastruktur wurde ebenso im Rahmen dieser Arbeit geschaffen. Dabei muss die Voraussetzung quantitativer Ortsangaben und standardisierter Kommunikationsprotokolle für die Verarbeitung von Informationen erfüllt sein. Als Lokalisierungssystem stützt sich diese Arbeit auf das existierende „*Global Positioning System*“ (GPS).

Das neu entwickelte Demonstrator-IT-System wurde in mehreren Feldversuchen unter anderem durch die „Schnelleinsatzeinheit-Bergung-Ausland“ (SEEBA) der Bundesanstalt Technisches Hilfswerk (THW) erprobt. Diese Versuche basieren auf einer erarbeiteten Methode, die eine objektive Evaluation der Effizienzsteigerung erlaubt. Während dieser Feldversuche wurden auch neue Ortungsmethoden evaluiert, die im Rahmen des I-LOV-Projektes entwickelt wurden. Ergebnisse hierzu werden ebenfalls präsentiert.

Die positiven Ergebnisse der Feldversuche ermöglichen eine erste Bestätigung des Nutzens der vorgeschlagenen Lösungen zur Effizienzsteigerung von Ortungseinsätzen. Durch die Unterstützung des IT-Systems ergab sich eine bisher unerreichte Fülle an Informationen, die der Führungsstelle zur Verfügung stand. Gleichzeitig wurde sie in ihren Dokumentationsaufgaben entlastet. Somit konnte sich die Einsatzleitung auf die Planung von Ortungsmaßnahmen besser konzentrieren, gefährdete Einsatzkräfte erkennen und warnen. Die in dieser Arbeit vorgestellten Spezifikationen können somit als Lastenheft für die Entwicklung von Informationssystemen für Ortungseinsätze in Trümmern dienen.

Ein Ausblick diskutiert weitere Verbesserungsmöglichkeiten der Entscheidungsunterstützung bei Ortungseinsätzen in Trümmern. Es wird beschrieben, wie die Anwendung des vorgeschlagenen Informationssystems dazu beitragen kann, Erfahrungen zu konsolidieren und somit die maschinelle Verarbeitung von Ortungsergebnissen zu verbessern.

# Abstract

Current emergency *Urban Search and Rescue* (USAR) operations are primarily based on the capacity of victims to alert rescue workers. Thus, if survivors' distress calls are unrecognizable – for instance due to their entrapment under debris –, decisions that are based on uncertain information in order to locate victims and prioritize extrication efforts become critical. Wrong decisions have an immediate impact on the rescue efficiency, considering expectable time and resource limitations.

Therefore, this interdisciplinary research seeks to improve information management during emergency operations, in particular for *Search and Rescue* (SAR) of entrapped survivors after structural collapses.

The state of the art of decision support systems for search operations has been reviewed in the scope of this work. Solutions exist for combat, maritime and surface search. However, their functionalities are not adapted to USAR, which differs with respect to the static character of, to the required sensorial means to detect and localize, and to the procedure of how to rescue entrapped survivors. The state of the art is followed by an overview of current rescue procedures and a characterization of ground-penetrating search methods, both technical and conventional. This characterization of detection, localization, and verification methods is essential for the processing of search results.

In order to meet the needs of USAR rescue personnel a nationwide survey among German USAR rescue personnel has been conducted within the scope of this work. A ratio of circa fifteen percent of all German forces have participated at this survey. It allowed to pinpoint the decision behavior during USAR missions and to clarify room for improvement. One of the major results was the need for a standardized information management in particular of uncertain information. The specifications presented in this work for such an IT-system have been elaborated primarily based on the outcome of this survey.

These specifications have been used to develop a prototype IT-system. This implementation allowed the evaluation of the specifications. The evaluations which were based on a standardized method were carried out in field experiments by professional rescue workers, such as the “Rapid Deployment Unit Search and Rescue” (SEEBa) of the German “Federal Agency for Technical Relief” (THW), resulted in an approval of the beneficial impact of the prototype IT-system to the efficiency of rescue missions. Hence, the specifications can be regarded as a foundation for future developments aiming at the improvement of USAR rescue missions. This work presents also the outcome of evaluations of new search technologies which have been elaborated parallelly to the development of the IT-system.

Concluding remarks portray the benefits with respect to experience consolidation and efficiency improvement, which is being made possible through the integration of such type of IT-systems into current USAR emergency procedures. It highlights concerns about the robustness of civil security infrastructures and therefore formulates recommendations.

# Danksagung

Diese Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter des *Lehrstuhls für Elektrische Mess- und Prüfverfahren* am *Institut für Mikrosystemtechnik* der *Albert-Ludwigs-Universität Freiburg*. In dieser Zeit war ich vor allem mit dem Forschungsprojekt „Intelligentes, Sicherndes Lokalisierungsverfahren für die Rettung und Bergung Verschütteter“ (kurz: I-LOV) beschäftigt, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wurde.

Ich möchte mich zuerst bei meinem Betreuer Herrn Prof. L. M. Reindl für die offene und unterstützende Zusammenarbeit recht herzlich bedanken. Er hat mir die Möglichkeit gegeben mich weiterzuentwickeln, unter anderem indem er zwei Anforderungen an meine Arbeit gestellt hat. Sie muss nicht nur wissenschaftlichen Anforderungen genügen, sondern auch Einsatzkräfte bei der Bewältigung von Unglücken unterstützen. Das anregende Umfeld an seinem Lehrstuhl und der offene Austausch an der Albert-Ludwigs-Universität kamen dieser Arbeit entscheidend zu Gute. Ich durfte von vielen fachlichen Gesprächen mit Frau Prof. I. Abi-Zeid, Herrn Dr. G. D. Tipaldi, Herrn Dr. W. Walker und Herrn Prof. A. Kleiner profitieren. Für ihre Zeit und ihre Anregungen gilt ihnen mein Dank. Die klaren Worte von Herrn Prof. G. Müller werden mir immer in Erinnerung bleiben. Herr Prof. G. Müller hat diese Arbeit seit den Anfängen der schriftlichen Ausarbeitung maßgeblich begleitet und begutachtet und war Vorsitzender der Prüfungskommission bei der Disputation. Seine gesellschaftliche Perspektive der Informatik hat mich bereichert und dafür möchte ich mich bedanken. Herr Prof. B. Nebel hat diese Arbeit nicht nur begutachtet, sondern durch seine Anforderungen und Vorschläge bereichert. Meine Anerkennung gilt auch ihm. Herrn Prof. W. Burgard möchte ich ebenfalls für seine fachliche Aufmerksamkeit für diese Arbeit danken. Den Herren Prof. Kuhn und Prof. Brox sei ebenfalls für Ihre kritische Durchsicht gedankt. Herrn Prof. Schindelhauer möchte ich für seine konstruktiven Vorschläge und Aufmunterung danken. Prof. Reineke war Beisitzer der Prüfungskommission bei der Disputation. Ich habe mich über seine interessanten Fragen gefreut. Zu guter Letzt möchte ich mich bei den zwei weiteren Gutachtern Prof. Ament und Prof. Koch für Ihre Zeit und Aufmerksamkeit bedanken.

Erwähnt soll auch die finanzielle Unterstützung für Konferenzzreisen durch die *Wissenschaftliche Gesellschaft Freiburg im Breisgau* sein. Ohne diese finanzielle Hilfe wäre der erforderliche Austausch mit Kollegen aus aller Welt nicht möglich gewesen.

Des Weiteren möchte ich mich bei allen Projektpartnern des I-LOV-Projektes bedanken, dessen interdisziplinärer Ansatz mich unter anderem durch Austausch mit Frau Dr. A. v. Zimmermann und Herrn Dr. T. Czepull bereichert hat. Insbesondere hat mich die Zusammenarbeit mit meinen Kollegen innerhalb des Arbeitspakets, dem ich zugeteilt war, inspiriert. Das *Technische Hilfswerk* war ebenfalls maßgeblich an der Verwirklichung dieser Arbeit beteiligt. Während zahlreicher Gespräche, Feldtests und anderen Gelegenheiten haben Einsatzkräfte ihre Vorstellungen in diese Arbeit mit einfließen lassen. Hier gilt es insbesondere die *Ortsverbände Unna-Schwerte, Breisach, Bad Säckingen* und *Emmendingen* und die „*Schnelleinsatzeinheit-Bergung-Ausland*“ (SEEBA) zu erwähnen. Dem *Institut für Feuerwehr- und Rettungstechnologie* der Feuerwehr Dortmund, dem *Institut für Rettungsingenieurwesen und Gefahrenabwehr* der FH Köln, dem *Roten Kreuz*, den Organisationen *International Search and Rescue* und *SARDOG* und der *Münchner Rückversicherung* gilt mein Dank für ihre freundliche Unterstützung.

Zum Schluss, möchte ich mich bei meiner Familie bedanken, die mich immer bedingungslos unterstützt hat. Ihr sei diese Arbeit gewidmet.

Q. Hamp

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>xiv</b>
<b>Symbolverzeichnis</b>	<b>xv</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Hintergrund der Arbeit . . . . .	2
1.2 Problemstellungen . . . . .	3
1.2.1 Ungenügende Kommunikation . . . . .	4
1.2.2 Subjektive Auswertung von Ortungsergebnissen . . . . .	5
1.2.3 Suboptimale Priorisierung . . . . .	6
1.2.4 Unzureichende Konsolidierung von Erfahrungen . . . . .	6
1.3 Methodik und Lösungsansätze . . . . .	7
1.4 Struktur der Arbeit . . . . .	7
<b>2 Stand der Technik</b>	<b>9</b>
2.1 Detaillierte Beschreibung von Problemen beim Ortungseinsatz in Trümmern . . . . .	9
2.1.1 Räumliche Probleme bei Ortungseinsätzen . . . . .	10
2.2 Digitale Unterstützung von Ortungseinsätzen . . . . .	12
2.2.1 Software zur Vorbereitung für einen Einsatz . . . . .	12
2.2.2 Software für die Einsatzbewältigung . . . . .	13
2.3 Zusammenfassung . . . . .	20
<b>3 Grundlagen zu Ortungsmethoden</b>	<b>23</b>
3.1 Ablauf eines Ortungseinsatzes in Trümmern . . . . .	24
3.2 Allgemeine Charakterisierung von Ortungsmethoden . . . . .	28
3.2.1 Detektionsgenauigkeit . . . . .	29
3.2.2 Positionsgenauigkeit . . . . .	30
3.2.3 Detektionsmethoden . . . . .	30
3.2.4 Lokalisierungsmethoden . . . . .	33
3.2.5 Verifikationsmethoden . . . . .	35
3.2.6 Weitere Charakterisierungskriterien . . . . .	35
3.2.7 Zusammenfassung . . . . .	36
3.3 Verwendete Ortungsmethoden . . . . .	36
3.3.1 Charakterisierung nach Messmethode . . . . .	38
3.4 Messmodell eines Radar-Detektionsgeräts . . . . .	38
3.4.1 Monostatisches Radarsystem . . . . .	40
3.5 Zusammenfassung . . . . .	44
<b>4 Unterstützung eines Ortungseinsatzes durch ein IT-System</b>	<b>46</b>
4.1 Bedarfsanalyse . . . . .	46
4.1.1 Methode . . . . .	46
4.1.2 Ergebnisse der Umfrage . . . . .	49
4.1.3 Diskussion der Umfrageergebnisse . . . . .	56
4.2 Spezifikationen eines IT-Systems für Ortungseinsätze . . . . .	61
4.2.1 Anwendungsfalldiagramm . . . . .	63

4.2.2	Anwendungsfall Erfassung von ortungsrelevanten Informationen . .	65
4.2.3	Anwendungsfall Verarbeitung ortungsrelevanter Daten ohne Fusion	67
4.2.4	Anwendungsfall Fusion von Information . . . . .	70
4.2.5	Anwendungsfall Unterstützung des Entscheidungsprozesses . . .	76
4.2.6	Komponentendiagramm . . . . .	80
4.2.7	Aktivitätsdiagramm . . . . .	81
4.2.8	Informationsflussdiagramm . . . . .	82
4.2.9	Sequenzdiagramm . . . . .	84
4.3	Prototypische Umsetzung . . . . .	84
4.4	Zusammenfassung . . . . .	87
<b>5</b>	<b>Feldversuche zu Ortungseinsätzen</b>	<b>90</b>
5.1	Evaluation des Demonstrator-IT-Systems . . . . .	90
5.1.1	Methode zur Evaluation der Effizienzsteigerung . . . . .	90
5.1.2	Evaluation des Grundkonzepts . . . . .	91
5.1.3	Evaluation des Informationsflusses in Großschadenslagen . . . . .	92
5.1.4	Evaluation des Einflusses neuer Ortungstechnologien . . . . .	99
5.1.5	Umfrageergebnisse zur Einsatztauglichkeit des IT-Systems . . . .	104
5.2	Evaluation von Ortungsmethoden . . . . .	107
5.2.1	Evaluation der Messungen mit Radar-Detektionsmethode . . . . .	107
5.2.2	Evaluation des Erkundungsroboters Moebhiu2s . . . . .	109
5.2.3	Ortungssonde . . . . .	114
5.3	Zusammenfassung . . . . .	115
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>117</b>
6.1	Ausblick . . . . .	118
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>123</b>
	<b>Anhang</b>	
<b>A</b>	<b>Allgemeine Informationen</b>	<b>138</b>
A.1	Dokumentation von Feldversuchen . . . . .	139
A.1.1	Dokumentation des Feldtests in Holzwickede . . . . .	140
A.1.2	Messergebnisse mit dem monostatischem Radarsystem . . . . .	145
A.2	Online-Fragebogen zum Entscheidungsverhalten . . . . .	145
A.3	Fragebogen zur Einsatztauglichkeit des IT-Systems . . . . .	152
A.4	Evaluation der I-LOV-Technologien durch das THW . . . . .	163
A.4.1	Einweisung . . . . .	163
A.4.2	Handhabung . . . . .	163
A.4.3	Einsatzwert . . . . .	164
A.4.4	Ergebnisse der Evaluation des IT-Systems . . . . .	164
A.4.5	Diskussion über die THW-Evaluationsergebnisse . . . . .	165
<b>B</b>	<b>Gebrauchsanleitungen des Demonstrator-IT-Systems</b>	<b>167</b>
B.1	PDA-Anwendung GeoRescue . . . . .	168
B.2	PC-Anwendung FRIEDAA . . . . .	172

<b>C</b>	<b>Datenbankschemata des Demonstrator-IT-Systems</b>	<b>188</b>
C.1	Datenbankschema für die Funktion Gefahrenwarnung . . . . .	188
C.2	Zentrales Datenbankschema für den Suchprozess . . . . .	189

# Tabellenverzeichnis

2.1	Übersicht Stand der Technik Informationssysteme für Einsatzbewältigung .	22
3.1	Wahrheitsmatrix für Verschüttetendetektion . . . . .	30
3.2	Charakteristiken von Ortungsmethoden . . . . .	39
3.3	Parameter zur Bestimmung der maximalen Reichweite des Radarsystems	43
4.1	Erfahrung mit fünf üblichen Entscheidungen bei Ortungseinsätzen . . . . .	50
4.2	Einstufung der Übersicht über den Einsatzablauf . . . . .	53
4.3	Deckung des Kommunikationsbedarfs bei Ortungseinsätzen . . . . .	56
4.4	Zusammenfassung der im Demonstrator realisierten Anwendungsfälle . .	88
5.1	Auswahl taktischer Zeichen nach DV1-102 . . . . .	92
5.2	Evaluation des Einflusses einer IT-Unterstützung auf Einsatzablauf . . . .	97
5.3	Evaluation des Einflusses von neuen Ortungstechnologien auf Einsatzablauf	104
5.4	Evaluation des Öffnungswinkels durch Klassifikation von Messergebnissen	108
5.5	Beste Leistung bezüglich der Geländetauglichkeit von Moebhiu <sup>2</sup> s . . . . .	112
A.1	Tote nach großen Erdbeben weltweit (1944-2008) . . . . .	138
A.2	Legende zur Lagekarte eines Feldversuchs in Holzwickede . . . . .	140
A.3	Messergebnisse eines Experiments mit dem monostatischem Radarsystem	162
A.4	Ergebnisse der THW Evaluation des Demonstrator-IT-Systems . . . . .	165

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Lagekarte einer Ortungseinsatzübung . . . . .	5
3.1	Ablauf eines Ortungseinsatzes nach der „5-Phasentaktik“ . . . . .	25
3.2	Heterogene Suchmethoden zur Ortung Verschütteter . . . . .	27
3.3	Charakterisierung von Ortungsmethoden in drei Klassen . . . . .	28
3.4	Positionsungenauigkeit beschrieben durch Gaußsche Verteilung . . . . .	31
3.5	Prinzip indirekter Messmethoden und ihre Messabweichungen . . . . .	34
3.6	Konventionelle Ortungsmethoden . . . . .	37
3.7	Technische Ortungsgeräte . . . . .	38
3.8	Detektion Verschütteter mittels monostatischem Radarsystem . . . . .	42
3.9	Maximale Reichweite eines monostatischen Radarsystems . . . . .	44
3.10	Erfassungsbereich eines monostatischen Radarsystems . . . . .	45
4.1	Erfahrung der Umfragen Teilnehmer mit Ortungsmethoden . . . . .	50
4.2	Beeinflussende Aspekte auf das Einleiten von Rettungsaktivitäten . . . . .	51
4.3	Aspekte, die die Stelle für Ortungsmaßnahmen beeinflussen . . . . .	52
4.4	Darstellungen der Wahrscheinlichkeit der vermuteten Verschüttetenposition	54
4.5	Gründe für die Herausforderung Informationsfluss . . . . .	56
4.6	Aufbau des verteilten Informationssystems . . . . .	61
4.7	Module der Entscheidungsunterstützung für Ortungseinsätze . . . . .	62
4.8	Anwendungsfalldiagramm eines IT-Systems für Ortungseinsätze . . . . .	64
4.9	Prozess der Informationsfusion für Ortungseinsätze . . . . .	71
4.10	Komponentendiagramm eines IT-Systems zur Unterstützung eines Ortungs- einsatzes . . . . .	81
4.11	Aktivitätsdiagramme der Rettung Verschütteter . . . . .	82
4.12	Informationsflussdiagramm bei einem Ortungseinsatz . . . . .	83
4.13	Sequenzdiagramm einer Dateneingabe oder -bearbeitung . . . . .	85
4.14	Verteilte, mobile Kommunikationsinfrastruktur des Demonstrator-IT-Systems	87
5.1	Positionen von Informationen im Feldversuch Holzwickede . . . . .	93
5.2	Konventionelle Lagekarte im Feldversuch in Holzwickede . . . . .	94
5.3	Globale Vermisstenliste des IT unterstützten Feldtests in Holzwickede . . . .	95
5.4	Lagedarstellung mit Demonstrator-IT-System in Holzwickede . . . . .	96
5.5	Einfluss einer IT-Unterstützung auf das Meldungsaufkommen . . . . .	97
5.6	Verzögerung zw. Informationserfassung und -eingang in die Führungsstelle	98
5.7	Lagekarte im Demonstrator-IT-System der Gefahren in Holzwickede . . . . .	99
5.8	Simuliertes Unglücksszenario an der THW Bundesschule in Hoya . . . . .	100
5.9	Synergie zwischen biologischer und technischer Ortung . . . . .	101
5.10	Lagedarstellung mit Demonstrator-IT-System in Hoya . . . . .	102
5.11	Einfluss neuer Ortungstechnologien auf den zeitlichen Einsatzablauf . . . .	103
5.12	Messaufbau des Experiments mit Bioradar . . . . .	107
5.13	Sensoren des Erkundungsroboters Moebhiu <sup>2</sup> s zur Verschüttetendetektion	109
5.14	Schlangenförmiger Erkundungsroboter Moebhiu <sup>2</sup> s . . . . .	110
5.15	Feldversuche mit Erkundungsroboter Moebhiu <sup>2</sup> s in Kanalsystem . . . . .	111
5.16	Geländetauglichkeit des Erkundungsroboters Moebhiu <sup>2</sup> s . . . . .	111

A.1	Taktisches Arbeitsblatt der Feuerwehr . . . . .	139
A.2	Meldungsprotokoll des konventionellen Laufs beim Feldtest in Holzwickede	143
C.1	Datenbankschema des IT-Systems für die Funktion Gefahrenwarnung . .	188
C.2	Datenbankschema des IT-Systems für den Suchprozess . . . . .	189

# Abkürzungsverzeichnis

(W)LAN	.....	(Wireless) Local Area Network
BMBF	.....	Bundes Ministerium für Bildung und Forschung
DB	.....	Datenbank
DGPS	.....	Differential Global Positioning System
ESRIF	.....	European Security & Research Innovation Forum
FEMA	.....	Federal Emergency Management Agency
GIS	.....	Geographisches-Informationen-System
GPS	.....	Global Positioning System
I-LOV	.....	Intelligentes, Sicherndes Lokalisierungssystem für die Rettung und Bergung von Verschütteten
ID	.....	Identifikation
INSARAG	....	International Search and Rescue Advisory Board
IT	.....	Information Technology
MMSE	.....	Minimum Mean Square Error
RFID	.....	Radio Frequency Identification
RMSE	.....	Root Mean Square Error
SAR	.....	Search and Rescue
SEEBBA	.....	Schnelleinsatzeinheit-Bergung-Ausland
SLAM	.....	Simultaneous Localization And Mapping
SMS	.....	Short Message Service
SNR	.....	Signal-Noise-Ratio
SOP	.....	Standard Operating Procedure
THW	.....	Bundesanstalt Technisches Hilfswerk
UML	.....	Unified Modeling Language
USAR	.....	Urban Search and Rescue

# Symbolverzeichnis

Die folgende Übersicht aller Variablen, die in dieser Arbeit benützt wird gibt neben einer Beschreibung der Variable ebenfalls die Einheit an. Diese ist aber oftmals abhängig vom Kontext. Deswegen zeigt ein Bindestrich an, dass entweder mehrere oder keine Einheit mit der Variable assoziiert sind.

<b>Variable</b>	<b>Bedeutung</b>	<b>Einheit</b>
$\alpha_M$	Öffnungswinkel einer richtungsabhängigen Messung	rad $\vee$ steradian
$\epsilon_D$	Absorptionskoeffizient	dB
$\varphi$	Wahrscheinlichkeitsdichte	%
$\lambda$	Wellenlänge	m
$\mu$	wahrer Mittelwert	–
$\sigma_r$	Radarquerschnitt	–
$\tau$	Ankunftsverzögerung	s
$\Xi_M$	Richtung der Position eines Verschütteten relativ zur Orientierung der Ortungsmethode	rad
$\Psi_M$	Orientierung einer Messapparatur	m $\vee$ rad
$\Omega$	Assoziationshypothese	–
$\Sigma$	Kovarianzmatrix	–
$C$	euklidische Distanz zwischen geschätzter Position und Position des Verschütteten	–
$d$	euklidische Distanz zwischen zwei Körpern	m $\vee$ rad
$d_{\max}$	maximale Reichweite des Erfassungsbereichs	m
$e$	Fehler	–
$f$	Frequenz	Hz
$G_r$	Antennengewinn	–
$G_t$	Antennengewinn	–
$h$	Hub	m
$\mathcal{N}$	Normalverteilung	–
$N_M$	Anzahl Befunde	–
$N_V$	Anzahl Verschütteter	–
$N_V^*$	maschinell geschätzte Zielanzahl	–
$N_V^\diamond$	vorgegebene Schätzung der Zielanzahl	–
$\hat{N}_V$	Geschätzte Anzahl Verschütteter	–
$P$	Wahrscheinlichkeit	%
$\mathcal{P}_r$	Empfangene Leistung	dBm
$\mathcal{P}_{\text{Rauschen}}$	Leistung des Rauschsignal	dBm
$\mathcal{P}_{\text{Signal}}$	Leistung des Signals	dBm
$\mathcal{P}_t$	Gesendete Leistung	dBm
$S$	Signalstärke	–
$S_{\text{lim}}$	Ansprechschwelle	–

s. nächste Seite

<b>Variable</b>	<b>Bedeutung</b>	<b>Einheit</b>
$S_{\text{Rauschen}}$	Signalstärke des Rauschen	–
$x$	$x$ -Koordinate in einem Koordinatensystem	m ∨ rad
$x_B$	binäre Aussage über Existenz eines Verschütteten	{0, 1}
$x_M$	Position einer Messapparatur	m ∨ rad
$x_V$	tatsächliche Position von Verschütteten	m ∨ rad
$\hat{x}_V$	geschätzte Position von Verschütteten	m ∨ rad
$\hat{x}_V^*$	maschinell geschätzte Position eines Verschütteten	m ∨ rad
$\hat{x}_V^\diamond$	vorgegebene Schätzung der Position eines Verschütteten	m ∨ rad
$y$	$y$ -Koordinate in einem Koordinatensystem	m ∨ rad
$z$	$z$ -Koordinate in einem Koordinatensystem	m
$z_M$	Messung der Position eines Verschütteten	m ∨ rad
$\bar{z}_M$	gemittelte Messungen	m ∨ rad

# 1 Einleitung

Reportagen mit dramatischen Bildern von Unglücksereignissen aus aller Welt erreichen die Öffentlichkeit immer unmittelbarer und anschaulicher. Die Unglücksereignisse sind vielfältig. Die Allgemeinheit erfährt in der Regel durch die Medien über diese Unglücksereignisse. Die Berichterstattung wird oftmals durch folgende, quantitative Faktoren objektiviert: Dauer der Gefahrenabwehr, Ausdehnung des betroffenen Areals, Anzahl der Opfer und besondere Gefahren. Das ermöglicht einen Vergleich mit früheren Ereignissen und kann somit den Unterhaltungswert vergrößern. Diese Faktoren sprechen jedoch nicht die spezifischen Herausforderungen an, die ein Unglücksereignis für Rettungskräfte darstellt. Aus diesem Grund stellt diese Art der Berichterstattung für die Einsatzkräfte nur beschränkt einen Mehrwert dar.

Insbesondere soll in dieser Arbeit auf Ortungseinsätze in Trümmerlagen eingegangen werden. Das Ziel ist es Methoden zu konzipieren, die Einsatzkräfte bei der Ortung und Bergung von Verschütteten unterstützen. Die Effizienz bei der Bewältigung solcher Ortungseinsätze kann heutzutage nicht verglichen werden, da eine einheitliche Protokollierung ortungsrelevanter Informationen während der Einsätze fehlt und somit die Auswertung solcher Einsätze nur mit beträchtlichem Aufwand möglich ist. Dies hat oftmals zur Konsequenz, dass nur die Einsatzkraft selbst aus dem individuell Erlebten Lehren ziehen kann. Es fehlt ihr jedoch oftmals der Blick auf die Konsequenzen ihres Handelns auf das Gesamtgeschehen eines Einsatzes. Aus diesem Grund und der fehlenden einheitlichen Protokollierung kann sie die Effizienz ihres Handelns nur ungenau bewerten. Der Wert ihres Erfahrungsaustausches und die Fähigkeit zum kollektiven Lernen werden deshalb in dieser Arbeit in Frage gestellt. Ein weiteres Problem stellt der sogenannte „Massenanfall von Verletzten“, insbesondere von Verschütteten dar, beispielsweise nach Erdbeben. Heutzutage kann nämlich eine optimale Koordination und Planung nicht erarbeitet werden.

Die Bereitschaft der internationalen Gemeinschaft, in Ausnahmeständen Hilfestellung zu leisten, spiegelt sich anhand der entsandten Einsatzkräfte wider (beispielsweise [52, 56, 170]). Ortungskräfte, Gerätschaften und speziell ausgebildete Suchhunde werden an die entferntesten Orte dieser Welt geschickt. Zum Beispiel trafen bei der Tōhoku Katastrophe in Japan 2011 47% dieser spezialisierten Einsatzkräfte samt Rettungshunden nach 48 h, und 88% nach 72 h ein<sup>1</sup>. In diesem Zeitraum werden jedoch normalerweise bereits 80–90% der Verschütteten von Passanten und lokalen Rettungskräften befreit [75, 116]. Die restlichen Überlebenden eines Gebäudeeinsturzes haben nur noch geringe Überlebenschancen, da diese in den ersten 48 h nach dem Ereignis beträchtlich sinken. Erfahrungen aus vorangegangenen Katastrophen haben gezeigt, dass die Überlebenschance, abhängig von Bauweise und Wetterbedingungen, nach 48 h weit unter 50% liegen kann (s. [55], S. 103). Außerdem sind die restlichen Überlebenden eines Gebäudeeinsturzes oftmals nur schwer aufzufinden. Ihre Rettung erfordert deshalb Einsatzkräfte, die ausgefeilte Ortungsmethoden beherrschen und über Ortungsgeräte verfügen, die den lokalen Einsatzkräften üblicherweise nicht zur Verfügung stehen.

Diese Arbeit hat als Ziel, Ortungseinsätze mit einer belastbaren Informationsdarstellung zu unterstützen, die auch als Grundlage für die Erfahrungskonsolidierung herange-

---

<sup>1</sup>Diese Zahlen stützen sich auf eine Auswertung des Erfahrungsberichts in [170]. Die größte Mobilisation wurde erst 9 Tage nach dem Erdbeben mit 923 Einsatzkräften und 52 Rettungshunden erreicht.

zogen werden kann. Die bearbeiteten Problemstellungen bei der Suche und Befreiung von Verschütteten werden nach einer kurzen Erläuterung des Hintergrunds dieser Arbeit angeführt.

## 1.1 Hintergrund der Arbeit

Die ersten Forschungen zu Ortungseinsätzen wurden nach den massiven Bombardierungen im Zweiten Weltkrieg von *Maack* veröffentlicht [123–125]. Derartige Forschungen erleben vor dem Hintergrund des Einsturzes des World Trade Centers in New York 2001 und zahlreicher Naturkatastrophen wie beispielsweise dem Seebeben und darauf folgenden verheerenden Tsunami in der Tōhoku-Region Japans 2011 sowie der Erdbeben in Haiti 2010 und in Izmit 1999 eine Renaissance<sup>2</sup>.

Das gesteigerte Bedürfnis nach effizienten (technischen) Lösungen bei der Katastrophenbewältigung lässt sich unter anderem mit dem hohen Sicherheitsstandard in Europa begründen, der mit einer Erwartungshaltung der Zivilbevölkerung gegenüber den Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben einhergeht.

Zwar beschränkt sich die Anzahl an Gebäudeeinstürzen in Deutschland auf einige wenige Vorkommnisse<sup>3</sup>; gerade dies bedingt jedoch den Forschungsbedarf, denn Erfahrungen im Umgang mit Gebäudeeinstürzen sind entsprechend rar. Zugleich bedeuten derartige Schadensereignisse immer eine Lebensgefahr für Menschen.

Diese äußeren Gegebenheiten steigerten das Interesse am Thema „Sicherheitsforschung“, was etwa durch Ergebnisse zahlreicher politischer Kongresse<sup>4</sup> und wissenschaftliche Initiativen<sup>5</sup> belegt werden kann. Auch das *Bundesministerium für Bildung und Forschung* (BMBF) fördert im Rahmen seiner sogenannten „Hightech Offensive“ die zivile Sicherheitsforschung im Jahr 2007. Konkreter Bestandteil dieses Forschungsprogramms war etwa das Forschungsprojekt „Intelligentes sicheres Lokalisierungssystem für die Rettung und Bergung von Verschütteten“ (I-LOV), das Mitte 2012 abgeschlossen wurde. Mit diesem Forschungsvorhaben sollten neue Ortungstechniken in den bestehenden Rettungsablauf integriert und vorhandene Ortungsgeräte verbessert werden. Zugleich sollten die Ergebnisse der einzelnen Ortungsmethoden so aufbereitet werden, dass sie den Einsatzkräften anschaulich dargestellt und deren Anschlussentscheidungen wie beispielsweise das Einleiten von Bergungsmaßnahmen auf einer entsprechenden Informationsgrundlage getroffen werden können.

Von den Ergebnissen des Forschungsvorhabens haben daher vor allem die Einsatzkräfte der *Bundesanstalt Technisches Hilfswerk* (THW) profitiert. Sie sind die operative Kraft des Bundes bei der Katastrophenbeseitigung [186], insbesondere für die technische Ortung und Bergung von Verschütteten, und daher die vorgesehenen Anwender des neu entstandenen Systems. Außerdem haben sie das Projekt I-LOV als Projektpartner begleitet.

<sup>2</sup>Tabelle A.1 im Anhang bietet eine Übersicht der großen Erdbeben des letzten Jahrhunderts.

<sup>3</sup>Hier sei auf die Statistiken der *Schweizer Rückversicherung* verwiesen [30–32, 77, 78, 166, 191–197].

<sup>4</sup>beispielsweise der jährliche Europäische Bevölkerungs- und Katastrophenkongress seit 2005 oder „European Security Research & Innovation Forum“ (ESRIF) [16];

<sup>5</sup>beispielsweise das japanische Forschungsprogramm von 2002–2006 [180], die jährliche Konferenz „Technologies for Homeland Security“ der USA seit 2007 und RoboCup Rescue seit 2001 [141, 142, 151];

Die vorliegende Untersuchung befasst sich mit Fragen, die im Rahmen von I-LOV aufgekomen sind. Dabei lagen dem Projekt drei Prämissen zugrunde:

Erstens hat sich der standardisierte Rettungsablauf (sogenannte „5-Phasentaktik“) seit dem zweiten Weltkrieg kaum verändert. Im Hinblick auf die veränderten infrastrukturellen Bedingungen und die neuen technischen Möglichkeiten erscheint dies jedoch notwendig zu hinterfragen.<sup>6</sup> *Krimgold* erachtete 1988 die Such- und Befreiungstechniken in Stahlskelettbetonbauten als inadäquat [116].

Zweitens wurden neue Ortungstechniken entwickelt, die im bisherigen Ablauf eines Ortungseinsatzes nicht vorgesehen sind.

Drittens schließlich stellt die Informationsflut, die sich bei der Anwendung heterogener Ortungsmethoden ergibt, eine neue Herausforderung dar. Die Entscheidungsfindung der Einsatzkräfte über einzuleitende Maßnahmen in einer Stresssituation, von der bei einem Ortungseinsatz ausgegangen werden kann, bedarf daher der Unterstützung durch eine standardisierte Informationsverarbeitung, die alle Alternativen berücksichtigt. Begründen lässt sich dieser Bedarf unter anderem mit einer Studie von *Keinan*, die nachgewiesen hat, dass Stresssituationen zu vorschnellen Entscheidungen und nicht-systematischer Berücksichtigung aller möglichen Alternativen führen können [110]. Das Funktionsspektrum derzeit verfügbarer Unterstützungssysteme wird den Anforderungen eines Ortungseinsatzes in Trümmern nicht gerecht. Außerdem erfordern die herkömmlichen Unterstützungssysteme vorwiegend aus dem militärischen Bereich einen Schulungsaufwand, den ehrenamtliche Einsatzkräfte von Organisationen wie dem THW nicht aufbringen können.

## 1.2 Problemstellungen

Die zahlreichen Problemstellungen, die bei der Bewältigung eines Schadensereignisses anzutreffen sind, hängen von den Einsatzbedingungen ab. Die Bedingungen können anhand der vier anfänglich erwähnten Faktoren Dauer, Ausdehnung, Anzahl Betroffener und Gefahren beschrieben werden, doch kommt bei einem Ortungseinsatz ein hohes Maß an Informationsdefizit hinzu. Aufgrund der fehlenden Belastbarkeit der Informationsgrundlage vor allem bei großen Ausdehnungen, der Überlastung der Kommunikationsströme bei einem Massenansturm von Verletzten und Betroffenen, der meistens fehlenden Übersicht über die präzise räumliche Natur der Problemstellungen ([55], S. 97) und des zeitkritischen Charakters bei der Rettung von Verschütteten [21] ist die Planung von Trümmereinsätzen besonders schwer.

Da eine Krisenbewältigung mit widersprüchlichen Zielen einhergeht [75, 104], kann die Planung eines Einsatzes nur ein Kompromiss sein. Zum Beispiel kann die Maximierung der Sicherheit der Einsatzkräfte dem Ziel widersprechen, möglichst viele Verschüttete zu finden. Das globale Ziel bei der Planung einer Krisenbewältigung kann folgendermaßen formuliert werden:

Mit limitierten Ressourcen soll eine größtmögliche Anzahl von Betroffenen versorgt oder gerettet werden, sodass es zu keiner weiteren Gefährdung von Personen kommt

---

<sup>6</sup>Gebäude wurden vor ca. 70 Jahren noch vorwiegend in Ziegelbauweise errichtet. Heutzutage wird die Stahlskelettbauweise mit Glasfassaden bevorzugt. Diese neuen Bauweisen ergeben beim Gebäudeeinsturz andere Schadensbilder wie beispielsweise die horizontale Schichtung, um die der ursprüngliche Katalog von Schadensbildern nach *Maack* 2002 erweitert wurde (s. [93], S. 36 ff.).

und ein Zustand gesellschaftlicher Stabilität möglichst schnell wiederhergestellt wird.

Um ein genaueres Bild über die Problemstellungen zu erhalten, wurde im Rahmen dieser Arbeit eine Studie zum Entscheidungsverhalten bei Ortungseinsätzen in Trümmern durchgeführt [6]. Zusammengefasst waren deren Ergebnisse: eine Bestätigung der geringen Erfahrung deutscher Einsatzkräfte mit Ortungseinsätzen in Trümmern; Schwierigkeiten bei der Kommunikation während eines Einsatzes; eine subjektive Auswertung von ungewissen Ortungsergebnissen; und eine fehlende Systematik bei der Auswahl und Anwendung von Ortungsmethoden.

Die in dieser Arbeit untersuchten Problemstellungen basieren somit nicht nur auf Beobachtungen oder früheren Forschungen, sondern auch auf dem aktuellen Bedarf der Ortungskräfte.

Funktionen zur Simulation von Konsequenzen von Katastrophen werden in dieser Arbeit außer Acht gelassen, da sie der Präventionsphase zuzuordnen sind und während der Bewältigungsphase eines Einsatzes nach einer Katastrophe, auf die sich diese Arbeit beschränkt, nicht nützlich sind. Da die Prävention in ihrer Wirksamkeit aber ein großes Potential aufweist, Leben effektiv zu schützen, soll hier ein Einblick in Funktionalitäten gewährt werden, indem auf folgende Literatur verwiesen wird: [62, 91, 100, 108, 129].

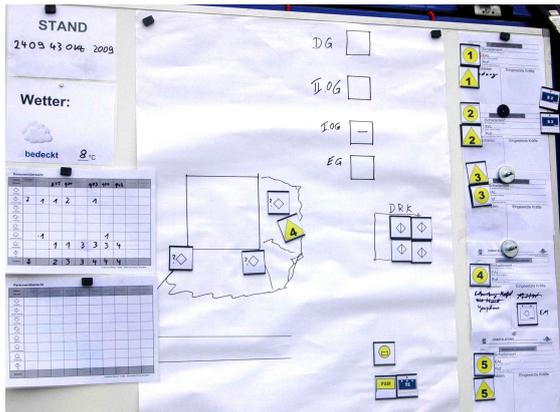
### 1.2.1 Ungenügende Kommunikation

Die Koordination von Maßnahmen zur Krisenbewältigung erfordert die Integration von Informationen und deren Kommunikation zwischen den beteiligten Kräften in Echtzeit [171]. Sprechfunk wird hierbei im Allgemeinen als ungenügend angesehen [6, 57, 91, 93]. Diese Unzulänglichkeit führte bereits in der Vergangenheit, wie beispielsweise beim World Trade Center-Rettungseinsatz 2001 in New York, zu tragischen Verlusten, wie es der Bericht von *McKinsey* hervorhebt [133]. Technische Faktoren wie Ausfallsicherheit, Reichweite und limitierter Informationsfluss beschränken den Informationsaustausch unter Einsatzkräften. Eine verbale Übermittlung von Positionen und betroffenen Flächen erfolgt meistens anhand einer Beschreibung einer Position in Bezug auf Orientierungspunkte, die den Kommunikationspartnern bekannt sind. Sie ist deshalb fehleranfällig und maschinell nicht verarbeitbar.

Aufgrund der oftmals überlasteten Sprechkanäle versuchen Einsatzkräfte, sich auf das Wesentliche zu beschränken. Somit werden ungewisse Informationen und Mitteilungen über erfolglose Suchmaßnahmen nur selten zur Protokollierung an die Einsatzleitstelle weitergeleitet. Die unterlassene Weitergabe von ungewissen Informationen und der häufig beträchtliche Verzug führen zu einem ungenauen und nicht aktuellen Lagebild in der Führungsstelle, das deren Entscheidungsfindung erschwert.

Ein Standard-Lagebild ist heutzutage skizzenhaft und beinhaltet keine genauen Positionskordinaten wie beispielsweise Länge, Breite und Höhe der Orte, an denen Ortungsmaßnahmen durchgeführt worden sind (s. Abb. 1.1(a)). Die Erfassung von genauen Koordinaten und erfolglosen Ortungsmaßnahmen wären jedoch für das Vermeiden mehrfach erfolgloser Ortungsmaßnahmen durch unterschiedliche Einheiten an ein und derselben Stelle und für die Erfahrungskonsolidierung notwendig.

Außerdem erfordert die Protokollierung und Aufbereitung der Funkkommunikation während des Einsatzes beträchtliche personelle Ressourcen in der Führungsstelle, die nicht immer vorhanden sind.



(a) Lagekarte der Ortungsübung auf einer magnetischen Tafel. Schadenskonten sind rechts der unskalierten Skizze des Gebäudes.



(b) Teilweise zerstörtes vierstöckiges Gebäude mit Randtrümmern, das der Ortungsübung diente.

**Abb. 1.1:** Ortungseinsatzübung in Hartheim, 2009: Suche nach Verschütteten in einem einzelnen, teilweise eingestürzten Gebäude.

### 1.2.2 Subjektive Auswertung von Ortungsergebnissen

Die Ungewissheit einer Information bezüglich des Verbleibs eines Opfers, die beispielsweise von einem Augenzeugen oder einer Ortungsmaßnahme stammt, kann mit der Dienstvorschrift 1-102 durch eine variable Anzahl von Fragezeichen angegeben werden [45]. Es fehlen jedoch Konventionen, was beispielsweise die Anzahl der Fragezeichen bedeutet. Aus ihnen geht auch nicht hervor, ob es sich etwa um eine Ungenauigkeit bezüglich der Position oder um eine Ungewissheit bezüglich der Existenz eines Verschütteten handelt.

Während eines Einsatzes ist die Auswertung von ungenauen oder ungewissen Informationen das zentrale Problem, gilt es doch, möglichst viele Betroffene zu lokalisieren, um ihnen Hilfsmaßnahmen zukommen lassen zu können. Die Gewissheit und Genauigkeit der Lokalisierung insbesondere eines Verschütteten spielt dabei eine ganz besondere Rolle, da sie den teilweise erheblichen Bergungsaufwand beeinflussen. *Gehbauer et al.* geben für schwierige Befreiungsmaßnahmen von Verschütteten einen durchschnittlichen zeitlichen Aufwand von über 10 h an ([93], S. 195). Aus diesem Grund wird häufig von Bergungsmaßnahmen abgesehen, sofern kein gewisser Nachweis nach einer ebenfalls teilweise aufwendigen Inspektion erbracht werden konnte.

Zur Ortung von Verschütteten werden – falls verfügbar – verschiedene Ortungsmethoden angewandt. Diese unterscheiden sich in den Informationen, die sie generieren können. So ermöglichen die Informationen entweder die Existenz, die Position und den Gesundheitszustand eines Verschütteten zu schätzen oder seine Existenz zu verifizieren. Die Verarbeitung all dieser Informationen soll zu einer qualitativ besseren Schlussfolgerung verhelfen. Diese Verarbeitung ist heutzutage aufgrund der Vielzahl und Heterogenität der Informationen schwierig.

### 1.2.3 Suboptimale Priorisierung

Bei einem nicht ausreichenden Aufgebot von Such- und Bergungseinheiten stellt derzeit die geforderte Schwerpunktbildung (s. [43]) in ausgewählten Regionen des Unglücksortes ein schwer lösbares Problem dar.

Bei der Priorisierung oder der Ablaufplanung der Suche spricht man von „struktureller Triage“ [184]. Gesucht werden soll dort, wo die Wahrscheinlichkeit, Überlebende zu finden, am größten ist. Dies betrifft die Ersterkundung des Unglücksortes ebenso wie die Suche nach Verschütteten.

Sofern mehrere Positionen von Verschütteten bekannt sind und Bergungseinheiten limitiert sind<sup>7</sup>, sollen Rettungsmaßnahmen nach dem Kriterium der Erfolgswahrscheinlichkeit organisiert werden<sup>8</sup>. Von den Richtlinien zum optimalen Vorgehen wird eine Priorisierung der Maßnahmen bei der Suche sowie der Bergung gefordert, die der medizinischen Triage bei einem Massenansturm von Verletzten entsprechen. Bei der Bergung sollen alle Ressourcen auf diejenigen Fälle konzentriert werden, bei denen die Präsenz eines Verschütteten nachgewiesen werden konnte [43]. Dies kann entweder akustisch oder durch visuelle Inspektion erfolgen.

Eine den Rettungserfolg maximierende Ablaufplanung von Bergungsmaßnahmen ist aber aus verschiedenen Gründen oftmals nicht möglich. Erstens kann der Bergungsaufwand nur ungenau bestimmt werden, da die Position des Verschütteten nicht genau bekannt ist sofern keine Inspektion möglich war. Zweitens wird häufig von Bergungsmaßnahmen abgesehen, falls kein Nachweis für das Überleben eines Verschütteten erbracht werden konnte. Drittens kann eine objektive Priorisierungsentscheidung nach dem Kriterium der Rettungserfolgswahrscheinlichkeit nur vor Ort getroffen werden, da der Entscheidungsträger sich aufgrund ungenügender Informationsverwaltung und -darstellung nur dort ein Bild verschaffen kann. Bei größerer Ausdehnung muss der Unglücksort in Zonen unterteilt werden, sodass mehrere Entscheidungsträger gleichzeitig eine lokal beschränkte Priorisierungsentscheidung treffen können. Eine globale Priorisierung erfordert Koordination, die mangels Konventionen suboptimal ausfallen kann.

### 1.2.4 Unzureichende Konsolidierung von Erfahrungen

Aus den vorher erwähnten Vorgehensweisen leitet sich ein grundlegendes Problem ab, das nach *Gehbauer et al.* folgendermaßen beschrieben werden kann: Gebäudeeinstürze, die die Rettung von Verschütteten erfordern, treten so selten auf, dass die Einsatzkräfte keine ausreichende Erfahrung aus eigener Anschauung sammeln können [93].

Bei der Suche nach Verschütteten basieren Entscheidungen auf ungenauen Angaben von räumlichen Gegebenheiten. Die Dokumentation nach einem Einsatz ermöglicht es leider nicht, räumliche Probleme (beispielsweise Auswertung von Ortungsergebnissen, Allokation von Ressourcen, Zusammenhang zwischen Suche und Bergung) zu verstehen, da die Ortungsergebnisse in der sogenannten „Bergungsliste“ nicht festgehalten

<sup>7</sup>Ein Modell zu Bedarf und Verfügbarkeit von Ressourcen bei Großeinsätzen [57] hat gezeigt, dass in der ersten achttägigen Phase der Bedarf nicht nur fünfmal so groß ist, sondern dass die Verfügbarkeit außerdem sinkt. Dies unterstreicht die zu erwartende Ressourcenknappheit bei Großeinsätzen in den ersten 72 h, in denen noch Hoffnung auf die Rettung Verschütteter besteht.

<sup>8</sup>Eine Untersuchung im Rahmen des I-LOV-Projekts zum rechtmäßigen Handeln, bevor das Lagebild genau erfasst ist, beleuchtete die Schwierigkeit, rechts-bindende Regelungen zu formulieren, was ihr Fehlen mit Ausnahme der sogenannten „Rettungstötung“ erklärt (s. [64], S. 151 ff.).

werden und das Einsatztagebuch weder Format noch Detailgrad der Protokollierung vorschreibt (s. beispielsweise [44]). Gründe dafür sind der Fokus der Einsatzkräfte auf die Rettungsmaßnahmen, die Informationsfülle während des Einsatzes und die mangelnde Fähigkeit von Einsatzkräften, im Nachhinein räumliche Gegebenheiten metergenau zu rekonstruieren und festzuhalten.

Des Weiteren stellt die Erfahrungskonsolidierung von Protokollen auf Papier einen großen Arbeitsaufwand aufgrund ihrer Quantität und womöglich nicht einheitlichen Form dar. Als Anschauung dieser Problematik soll eine vollständige Dokumentation der Suche in 280 000<sup>9</sup> zerstörten Häusern mit Einzellagedarstellungen (s. Anhang Abb. A.1) und Funkprotokollen (s. Anhang Tabelle A.2, Abb. A.2) nach dem Erdbeben in Haiti 2010 dienen.

### 1.3 Methodik und Lösungsansätze

Die Unterstützung von Ortungseinsätzen in Trümmerlagen durch digitale Informationsverwaltung ist der gewählte Ansatz, um die vorgestellten Probleme zu lösen. Methodisch wurde die Arbeit folgendermaßen angegangen: Nach einer Bestandsaufnahme der Problemstellungen, denen Einsatzkräfte während der Ortung und Bergung von Verschütteten begegnen, soll geprüft werden, welche sinnvoll unterstützt werden könnten. Bei dieser Abwägung werden der Nutzen für Einsatzkräfte und technische Möglichkeiten vordergründig analysiert. Nach einer Entscheidung, welche der Problemstellungen unterstützt werden soll, wurde der Lösungsansatz verwirklicht und anschließend evaluiert.

Die Probleme der ungenügenden Kommunikation von ortungsrelevanten Informationen und des ungenauen Lagebildes sollen gelöst werden. Das ungenaue Lagebild ist die Konsequenz aus einer ungenügenden Kommunikation und einer subjektiven Auswertung von Ortungsbefunden. Die Behebung der Folgen dieser Probleme, nämlich eine subjektive Auswertung von Ortungsergebnissen, eine suboptimale Priorisierung und eine unzureichende Konsolidierung von Erfahrungen, baut auf diesen Lösungen auf.

Der Beitrag dieser Arbeit besteht unter anderem darin, eine computergestützte Infrastruktur zu schaffen. Ein verteiltes, mobiles Informationssystem ist entwickelt worden, das Einsatzkräfte beim Ortungseinsatz durch angepasste Funktionalitäten unterstützen kann. Der Lösungsansatz einer computergestützten Infrastruktur ermöglicht eine verbesserte Kommunikation und eine persistente Datenspeicherung und löst somit das Problem einer unzureichenden Konsolidierung von Erfahrungen.

Außerdem hat diese Arbeit zum Ziel, die Voraussetzung zur maschinellen Verarbeitung von Ortungsergebnissen zu schaffen, indem Ortungsmethoden charakterisiert und in Feldversuchen erprobt werden.

### 1.4 Struktur der Arbeit

Die Arbeit stellt im folgenden Kapitel 2 den Stand der Technik bei der computergestützten Einsatzbewältigung vor, mit dem Fokus auf Ortungseinsätze in Trümmern. Dieser Stand der Technik stellt neben den bereits erwähnten Problemen weitere Aufgaben bei der

<sup>9</sup>Quelle: <http://www.theage.com.au/world/haitians-angry-over-slow-aid-20100204-ng2g.html>, 5.02.2010

Trümmersuche vor, bei deren Bewältigung Einsatzkräfte durch Einsatz von Computer unterstützt werden können.

Zum Kapitel 3 gehört die Beschreibung eines Ortungseinsatzes in Trümmern sowie eine Charakterisierung von Ortungsmethoden.

Die Lösungsansätze werden im Kapitel 4 beschrieben. Zu Beginn werden die Ergebnisse einer bundesweiten Umfrage zum Entscheidungsverhalten von Einsatzkräften bei der Trümmersuche vorgestellt. Diese Ergebnisse dienen unter anderem als Grundlage für die Erarbeitung von Spezifikationen für ein Informationssystem, das Ortungseinsätze unterstützen soll. Diese Spezifikationen sowie die Beschreibung einer prototypischen Umsetzung werden ebenfalls präsentiert.

Im Kapitel 5 werden die gesammelten Erfahrungen mit diesem Informationssystem und mit den Ortungsmethoden während durchgeführter Feldversuche beschrieben. Dabei wird der Frage nachgegangen, ob diese prototypische Umsetzung eines IT-Systems die Effizienz von Ortungseinsätzen steigert. Zur Beantwortung dieser Frage wird eine Methode vorgeschlagen, die eine eventuelle Effizienzsteigerung einer objektiven Evaluierung zugänglich macht.

## 2 Stand der Technik

Die Diskussionen zum Stand der Technik zur computergestützten Bewältigung von Ortungseinsätzen soll anhand von Problemen erfolgen, die während solcher Einsätze auftreten. Die einleitende Auflistung solcher Problemstellungen ist beschränkt, daher soll sie im folgenden Abschnitt erweitert werden.

Die Untersuchung wird auf Probleme beschränkt, denen in den ersten zwei von vier Phasen des Katastrophenmanagements (s. [58]) begegnet werden kann:

- Phase 1: Vorbereitung einer Katastrophenbewältigung („prepardness“),
- Phase 2: Bewältigung einer Katastrophe („response“).

Die zahlreichen Probleme der folgenden Phase 3: Wiederaufbau („recovery“) und Phase 4: Prävention und Verstärkung der Resilienz („mitigation“) bleiben unberücksichtigt.

Es sei einleitend auf die Dienstvorschrift 100 des THWs hingewiesen, welche Begrifflichkeiten, Zuständigkeiten, Strukturen und Prozesse für die erfolgreiche Gefahrenabwehr beschreibt. Darin wird u. a. die Fortschreibung prägnanter und anschaulicher Lagedarstellungen als Grundlage eines zielgerichteten Handelns gefordert, die in ihrem Detaillierungsgrad sich den führungsspezifischen Bedürfnissen anpasst.

Im folgenden werden oftmals Parallelen zur Flächensuche gezogen. Der Grund dafür liegt darin, dass die Verschüttetensuche in vielen Bereichen vergleichbar mit der Suche nach Vermissten in der Fläche ist. Nichtsdestotrotz decken Unterstützungssysteme für die Flächensuche nur einen Teilbereich der Aufgaben der Verschüttetensuche ab. Im Folgenden werden diese Unterschiede herausgearbeitet.

### 2.1 Detaillierte Beschreibung von Problemen beim Ortungseinsatz in Trümmern

Ortungseinsätze in Trümmern stellen, wie einleitend bemerkt, ein komplexes Planungsproblem dar, dessen Details in diesem Kapitel vorgestellt werden. Der Fokus liegt neben dem im Folgenden beschriebenen Datenintegrationsproblem vor allem auf räumlichen Herausforderungen, die unterstützt werden können.

Ein grundlegendes Dilemma bei der Entscheidungsunterstützung von Ortungseinsätzen ist das Datenintegrationsproblem, das *Kleiner* et al. ausführlich beschrieben haben [111]. In einem Multi-Agenten-System muss den Entscheidungsträgern für die Planung und Koordination von Vorgängen ein geeignetes Bild der Einsatzlage vorliegen. Dies kann jedoch nur durch Integration von Beobachtungen mehrerer Agenten (das heißt Einsatzkräften oder autonomen Einheiten wie Robotern oder Flugdrohnen) erreicht werden. Die digitale Integration von Informationen stellt, im Gegensatz zur konventionellen Übertragung und Protokollierung von Funksprüchen in einem Formular, dem sogenannten „Vierfach-Vordruck“<sup>1</sup>, für Einsatzkräfte ein besonderes Hindernis dar. Der Grund hierfür liegt darin, dass sie neben der Standardausrüstung ein weiteres Gerät zur digitalen Integration von Informationen mit sich führen und unter erschwerten Bedingungen bedienen müssen.

---

<sup>1</sup> Dies ist eine formalisierte Kommunikation, die vorgibt „... wie und von wem der Vordruck auszufüllen ist und wer welchen Vordruck erhält.“ [?].

### 2.1.1 Räumliche Probleme bei Ortungseinsätzen

*Laurini und Thompson* haben sechs grundsätzlichen Typen räumlicher Problemstellungen spezifiziert ( [119], S. 45 f.). Alle diese Typen treten auch während eines Ortungseinsatzes auf. Es sind die folgenden sechs räumliche Problemstellungen, die den vorliegenden Abschnitt strukturieren:

- |                    |                |                  |
|--------------------|----------------|------------------|
| 1. Standortfindung | 3. Zonierung   | 5. Trassenlegung |
| 2. Allokation      | 4. Pfadplanung | 6. Raumplanung   |

Die **Standortfindung** eines Verschütteten ist bei einem Ortungseinsatz das zentrale Problem und wurde in der Einleitung (s. Abschnitt 1.2.2) beschrieben. Es gibt jedoch neben der Standortfindung von Verschütteten noch ein anderes Problem, nämlich das der Lokalisierung mobiler Einheiten. Das Auffinden von Verschütteten beruht auf einer präzisen Lokalisierung der bereits erfassten Ortungsergebnisse, gegebenenfalls über die Position der mobilen Einheiten, und das insbesondere in Situationen, in denen die Ortung nicht konsekutiv, sondern mit Pausen erfolgt. Die bisherigen Lösungen zur Lokalisierung von mobilen Einheiten basieren oftmals auf einer Infrastruktur (wie etwa dem „Global Positioning System“ (GPS), die von drei inhärenten Problemen begleitet werden kann:

Erstens muss diese Infrastruktur aufgebaut werden, falls sie nicht schon vorinstalliert ist.

Zweitens ist die Lokalisierung im Freien meist zu ungenau<sup>2</sup>.

Und drittens funktioniert innerhalb von (teil-)zerstörten Gebäuden die Lokalisierung meistens nicht oder nur sehr ungenau.

Die **Allokation** von Ressourcen ist ein Problem, das diese Arbeit unter dem Begriff der „Priorisierung von Bergungsmaßnahmen“ ebenfalls behandelt (s. Abschnitt 1.2.3). Wenn man neben dem räumlichen das zeitliche Kriterium dieses Allokationsproblems bei den Such- und Bergungsprozessen von Verschütteten hervorhebt, so ist es auch unter dem Begriff „scheduling“ oder „Ablaufplanung“ bekannt und stellt ein Optimierungsproblem dar, dessen Lösung üblicherweise verschiedene Kriterien berücksichtigt (mehr Details s. [156]). Es wird vorgeschlagen, dass bei einem Ortungseinsatz der Ablaufplan vor allem nach folgenden Kriterien optimiert werden sollte:

- **Durchsatz:** Eine möglichst hohe Anzahl von Prozessen soll terminiert werden. Hier wird ein Prozess mit einem Rettungsprozess eines Verschütteten gleichgesetzt.
- **Effizienz:** Die Ressourcen sind möglichst optimal auf alle Prozesse zu verteilen. Dabei muss auf die Kompetenzen und die Beschränktheit der Ressourcen eingegangen werden. Hundestaffeln brauchen wie Einsatzkräfte Ruhepausen. Geräte müssen gewartet werden. Der gängige Fachausdruck fasst dies unter dem sogenannten Erhalt des „Einsatzwertes“ (s. [42], S. 50) zusammen.
- **Termineinhaltung:** Rettungsprozesse sollten binnen 72 h beendet sein, um einen hohen Durchsatz zu ermöglichen.

<sup>2</sup>Bei der Lokalisierung von Verschütteten sollte die maximale Fehlerquote die Größenordnung eines Menschen (1 m) nicht überschreiten. GPS hat bestenfalls eine Genauigkeit von >1 m und ist daher zu ungenau. Der Einsatz von zusätzlicher Infrastruktur ist zwar aufwendig, kann aber die Genauigkeit verbessern, wie beispielsweise beim „Differential GPS“ [26]

## 2.1. Detaillierte Beschreibung von Problemen beim Ortungseinsatz in Trümmern

- **Einfachheit und Schnelligkeit:** Der Ablaufplan muss einfach verständlich sein und schnell ermittelt werden.
- **Sicherheit:** Die Allokation von Ressourcen sollte nicht die Sicherheit von Einsatzkräften gefährden.

Das Kriterium *Fairness* bedeutet eine möglichst gerechte Verteilung der Ressourcen auf alle Rettungsprozesse. Da die Wahrscheinlichkeit der Terminierung eines Rettungsprozesses oft gering ist, wird das Kriterium zugunsten des Durchsatzes vernachlässigt (s. [43]). Die Ablaufplanung ist komplex, da die zwei Aufgaben *Suche* und *Bergung* von mehreren Einsatzeinheiten mit jeweils unterschiedlichen Kompetenzen durchgeführt werden können. Die Erfolgswahrscheinlichkeit hängt auch davon ab, ob diese Kompetenzen richtig erkannt und den verschiedenen Aufgaben unter Berücksichtigung von räumlichen Gegebenheiten optimal zugeordnet werden.

Um ein koordiniertes Vorgehen zu gewährleisten, werden Unglücksstellen räumlich untergliedert, falls die Vielfalt der Gefahren und der Schäden oder die Vielzahl der unterstellten Einheiten es erfordern [42]. Dies entspricht der **Zonierung**. Zonen werden von Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben *Schadenskonten* oder *Einsatzabschnitte* genannt [42]. Dies hat die Vorteile einer vereinfachten Lagedarstellung, vor allem auf Papier<sup>3</sup>, einer verteilten hierarchischen Struktur und einer einfacheren Entscheidungsfindung vor allem bei der Priorisierung von Maßnahmen.

Eine weiteres Kriterium für die Zonierung ist die Verschüttetenwahrscheinlichkeit, die der Einsatzeffizienz zugute kommt. Wie bereits einleitend erwähnt, spricht die „*International Search and Rescue Advisory Group*“ dabei von einer *strukturellen Triage* [184]. Eine angepasste Zonierung ermöglicht außerdem die gleichzeitige Verwaltung von andernfalls sich hindernden Rettungsmaßnahmen (beispielsweise akustische Ortung während eines Bergungsversuchs durch Betonbohrungen).

Eine Zonierung hilft ebenfalls, den Transportaufwand zu minimieren, indem sich Zonengrenzen an Hindernissen orientieren [112]. Die Zonierung erfolgt heutzutage pragmatisch, aber keinesfalls optimal.

Die **Pfadplanung** ist eine Problemstellung, die gelöst werden muss, noch bevor die Einsatzkräfte den Unglücksort erreichen. Es gilt, unter verschiedenen Alternativen den schnellsten Anfahrtsweg zu wählen. Dieses Problem ergibt sich auch am Unglücksort, da es sich bei der Rettung von Verschütteten um ein zeitkritisches Problem handelt. Jeder unnötige Verzug bei der Bewegung von Einsatzkräften mindert die Einsatzeffizienz.

Bei völlig zerstörten Unglücksorten sind Anfahrtswege oftmals nicht mehr nutzbar, sodass eine **Trassenlegung** geplant und verwirklicht werden muss, wie es nach vielen Erdbeben der Fall ist [100]. Dabei müssen erst alle Hindernisse in früheren Trassen erkannt werden, um gegebenenfalls eine Trasse legen zu können, die am wenigsten Aufwand bei der Beseitigung der Hindernisse erfordert.

Die **Raumplanung** ist eine Problemstellung, der nicht nur bei großen, sondern bereits bei kleinen Ereignissen begegnet wird. Die räumliche Organisation der Parkflächen für Einsatzfahrzeuge, der Patientenablagen, der Einsatzleitung, etc. an der Einsatzstelle beeinflusst den Ablauf eines Einsatzes. Eine gute Raumplanung kann die Logistik am Einsatzort vereinfachen und somit die Einsatzeffizienz erhöhen.

---

<sup>3</sup>s. Ergebnisse der Umfrage [6]

## 2.2 Digitale Unterstützung von Ortungseinsätzen

Der Stand der Technik muss viele unterschiedliche Systeme berücksichtigen, die Unterstützung bei der Krisenbewältigung anbieten könnten. So gibt es Expertensysteme, Entscheidungsunterstützungssysteme (in Englisch „Decision Support Systems“ (DSS)), räumliche Entscheidungsunterstützungssysteme (in Englisch „Spatial Decision Support Systems“ (SDSS), für eine Definition s. [70]) sowie geographische Informationssysteme (GIS)<sup>4</sup>, wie sie in militärischen, computergestützten sogenannten „Command and Control“-Systemen [120] und Derivaten (C4, C4I, C4ISR, etc.) vorzufinden sind (s. [132]).

Die folgende Übersicht orientiert sich an den vorgestellten Problemen (s. Abschnitte 1.2 und 2.1). Der Fokus liegt auf der Unterstützung von Suchaufgaben. Diese Übersicht erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit.

### 2.2.1 Software zur Vorbereitung für einen Einsatz

Ortungseinsätze in Trümmern sind in Deutschland selten. Eine Verschüttung realistisch nachzustellen ist relativ aufwendig und daher nur selten Inhalt von Übungen. Sie wäre jedoch essentiell für das Erlernen von aufwendigen Ortungs- und Bergungsmaßnahmen. Dies begründet den Bedarf an kostengünstigen virtuellen, das heißt digitalen Simulationen als Vorbereitungsmaßnahme auf solche Einsätze [75].

Zum Einen gibt es in der Vorbereitungsphase IT-Systeme, die den Einfluss einer vermeintlichen Katastrophe, wie beispielsweise einem Erdbeben, simulieren können und dies in einer 2D-Karte der geschätzten Schäden und Opfer anzeigen (beispielsweise [129]). Charakteristisch beim von *Markus* et al. vorgeschlagenen „EQSIM“ ist, dass es den Entscheidungsträgern das Üben einer Katastrophenbewältigung (insbesondere der Raumplanung, der Zonierung und der Allokation von Rettungseinheiten) ermöglicht, indem Schäden nach einem Erdbeben simuliert werden können. Besonders vorteilhaft ist, dass die Entscheidungsträger die aus den Übungen bekannte Softwareumgebung bei der Planung eines realen Einsatzes ebenfalls nutzen können [129].

Das von *Schurr* et al. vorgestellte „DEFACTO“-System soll der Ausbildung von Einsatzführungskräften dienen [168]. Dieses System findet hier trotz seines Anwendungsgebietes in der Feuerbekämpfung Erwähnung, da es ein Multi-Agenten-System simuliert und den Aspekt der teilweise fehlenden Sichtbarkeit durch 3D-Visualisierung mit berücksichtigt. Dieser Aspekt müsste bei einem Simulationstool für Ortungseinsätze mit der gänzlich fehlenden Sichtbarkeit von Verschütteten erweitert werden.

Dem Autor ist derzeit keine Software-Lösung bekannt, die das Üben von Ortungseinsätzen, insbesondere für die Suche nach Verschütteten ermöglicht.

---

<sup>4</sup>für eine Definition s. [119]. In den Anfängen wurden GIS mitunter auch als „Systeme mit passiver Entscheidungsunterstützung“ bezeichnet, da der Nutzer mit einem GIS Entscheidungsvorschläge entwickeln kann (s. [177]). Aufgrund der begrenzten analytischen Fähigkeiten eines GIS sind sich die meisten Experten allerdings einig, dass es sich bei einer georeferenzierten Darstellung von Informationen nicht um eine Entscheidungsunterstützung handelt. Hierzu müsste das System unter anderem um analytische Werkzeuge erweitert werden [70].

### 2.2.2 Software für die Einsatzbewältigung

Im Folgenden wird der Stand der Technik bei Problemen vorgestellt, die während Ortungseinsätzen auftreten. Dieser Abschnitt orientiert sich an den Problemstellungen, die in den Abschnitten 1.2 und 2.1.1 vorgestellt worden sind.

#### Ungenügende Kommunikation

Grundsätzlich sei darauf hingewiesen, dass Systeme mit verbesserter Datenintegration und Kommunikation ein verbessertes Lagebewusstsein ermöglichen. Diese Unterstützung ist bei allen Arten von Katastrophenbewältigungen essenziell, auch bei der Verschüttetensuche.

Nachfolgend sei auf Systeme eingegangen, die das Problem der Datenintegration lösen. Dabei wird insbesondere auf Kommunikationsprotokolle eingegangen. Außerdem wird aufgezeigt, wie verbesserte Kommunikation und Datenintegration zu einem verbesserten Lagebewusstsein und der Erhöhung der Sicherheit von Einsatzkräften durch Warnung bei Gefahrenfrüherkennung führen kann.

**Informationserfassung – Datenintegration** In klassischen digitalen Informationsverwaltungssystemen für die Katastrophenbewältigung wird das Papierformular des Vierfach-Nachrichtenvordrucks übernommen, der heutzutage in Führungsstellen eingesetzt wird (beispielsweise Software-Produkte ELStab [53], TecBOS.Command [138]). Dies ermöglicht es jedoch nur, Funkprüche zu protokollieren und automatisch in einem Multi-Agenten-System zu verteilen. Das Produkt TecBOS.Command bietet eine digitale Lagekarte an, in der taktische Zeichen nach Dienstvorschrift 1-102 (s. [45]) platziert und dargestellt werden können. Diese Karte ist nicht georeferenziert, erlaubt jedoch das Führen von Schadenskonten. Die Definition von Schadenskonten erfolgt durch Eingabe des Anwenders. Die Firma Icomedia arbeitet derzeit an einem hoch verfügbaren Internet basierten Stabs-Informationssystem im Rahmen eines Projekts „Katastrophenschutz Berlin“, welches ebenso über eine georeferenzierte Lagedarstellung verfügt<sup>5</sup>.

Diese Informationssysteme ermöglichen die Integration von Daten in der Führungsstelle, unterstützen jedoch die Verarbeitung von ungewissen Informationen nicht. Mit Ausnahme von Icomedia lösen diese Systeme nicht das Datenintegrationsproblem für Einsatzkräfte vor Ort. Die Internet basierte Lösung von Icomedia erfordert eine funktionsstüchtige Kommunikationsinfrastruktur für die Echtzeitintegration von vor Ort erfassten Daten, aber bietet auch Lösung für einen Datenimport an.

**Kommunikationsprotokolle** *Kleiner* et al. haben eine Lösung des Datenintegrationsproblems vor Ort vorgeschlagen [111]. Sie stützt sich auf einen tragbaren, in die Kleidung integrierten Computer, den eine Einsatzkraft auch mit Handschuhen bedienen kann. Das Tragen von Handschuhen ist für Einsatzkräfte Pflicht. Aus diesem Grund können viele der derzeit üblichen, auf kapazitiven Touchscreens basierenden Systeme nicht genutzt werden. Die Erfassung von Informationen beschränkte sich jedoch auf gewisse Informationen (s. hierzu das vorgeschlagene Kommunikationsprotokoll, basierend auf der Erweiterung des GPX 1.1 XML-Datenformats [183]).

<sup>5</sup>s. <http://www.icomedias.com/Referenzen/Seiten/Katastrophenschutz-Portal-Berlin.aspx>, 2013.

Die Publikationen [121, 122] präsentieren das Projekt „Galileo4Firebrigades“, welches sich auf das Galileo Lokalisierungssystem stützen. Diese Publikationen zeigen auf wie das Gefahrenpotenzial speziell in einem Waldbrandeinsatz durch geeignete semantische Klassifizierung von Daten verringert werden kann. Solche Systeme sind ebenfalls industriell erhältlich wie aus folgender Quelle hervorgeht [167].

Die von *Meguro et al.* vorgeschlagene Infrastruktur kann mehrere und verschiedene Arten von Agenten verwalten, deren Beobachtungen festhalten und übertragen [134]. Es handelt sich dabei um eine Arbeit, die sich ins bereits erwähnte japanische Forschungsprojekt DDT eingliedert. Das vorgeschlagene Kommunikationsprotokoll, das „*Mitigation Information Sharing Protocol*“ (MISP) heißt und auf der Kompatibilität der Beschreibung von georeferenzierten Informationen durch „*Geographic Markup Language*“ (GML) und der sogenannten „*Web Feature Server*“ (WFS)-Datenbank basiert, sieht aber ebenfalls keine ungewissen Informationen vor. Es erfasst jedoch Sensorfehler, und durch die flexible Natur des MISP-Protokolls könnten weitere Informationen angegeben werden. Eine Besonderheit bei diesem Protokoll ist die Erfassung der zeitlichen Gültigkeit der erfassten Informationen im Format namens „KIWI+“.

**Verbesserung des Lagebewusstseins** Ein großes Problem bei jeder Einsatzbewältigung ist die teils bedeutende Diskrepanz beim Lagebewusstsein zwischen Einsatzleitstelle und Einsatzkräften vor Ort, was sich aus dem Datenintegrationsproblem und ungenügender Kommunikation ergibt. Das Datenintegrationsproblem muss gelöst werden, damit bei der Planung eines Einsatzes auf die dynamische Umgebung eines Einsatzes reagiert werden kann. Dazu bedarf es eines verteilten mobilen Informationssystems. Die Erfassung sowie die zeitnahe Kommunikation von Informationen müssen vor Ort und in der Führungsstelle gewährleistet werden. Das *Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe* hat in Zusammenarbeit mit dem Unternehmen *ProDV* hierzu die Software *deNIS II<sup>plus</sup>* entwickelt, die Entscheidungsträgern aus verschiedenen Organisationen den gleichen Lageüberblick über Risiken und Positionen wie Stärke von Einsatzkräften und -mitteln verschafft [158]. Die Funktionalität dieses Systems beschränkt sich jedoch auf die Unterstützung bei Allokationsproblemen. Das EU-Projekt SHARE [157] hat u.a. wichtige Beiträge geleistet zur Erforschung von Lagebildern. Das wichtigste Ergebnis ist die Forderung nach einer räumlichen und organisatorischen Sichtung auf ein gemeinsames Lagebild, da dies die Einsatzeffizienz deutlich erhöht. Darüber hinaus wurden in diesem Projekt auch Führungsebenen-übergreifende Lösungen realisiert.

**Gefahrenerkennung** Die Suche nach Verschütteten findet oft in gefährlichen Umgebungen statt, da die Struktur teilweise eingestürzter Gebäude instabil sein kann. *Peña-Mora et al.* schlagen ein System vor, bei dem Baufachberater das Risiko eines sekundären Einsturzes mit einer georeferenzierten Karte einschätzen [155].

Interessant ist bei diesem System unter anderem der Kollaborationsansatz verschiedener Agenten auch vor Ort.

Informationen werden nicht nur zentral, sondern auch vor Ort durch aktive „radio frequency identification“ (RFID)-Tags gespeichert, wie es auch schon *Takizawa et al.* [181] und *Hada et al.* vorgeschlagen haben [96].

Das „Disaster Management Tool“ umfasst ein Expertensystem, das den Entscheidungsträger mit für den Ortungseinsatz relevanten Informationen (beispielsweise Ge-

fahrentstoffe oder die optimale Zugangsart bei vorliegender Gebäudekonstruktionsweise für die Befreiung Verschütteter) versorgen kann [129].

### Subjektive Auswertung von Ortungsergebnissen – Datenfusion

Die Auswertung von Ortungsergebnissen ist eine wichtige Aufgabe bei der Verschüttetensuche, da sie der Entscheidung des Einleitens von Bergungsmaßnahmen zu Grunde liegt. Im Folgenden wird zunächst auf die Polemik der Begrifflichkeit Datenfusion eingegangen, da ihre Definition maßgeblich die Kategorisierung von Systemen zur Unterstützung bei der Datenfusion beeinflusst. Dann wird auf die Minensuche eingegangen, da dies derzeit der einzige Anwendungsbereich von Unterstützungssystemen beim Auffinden nicht unmittelbar, lokalisierbarer Objekte ist. Auf Grund dieser Parallele kommt es zur Erwähnung dieses Anwendungsbereichs in diesem Stand der Technik zur Unterstützung der Verschüttetensuche. Es werden die Unterschiede zwischen beiden Anwendungsbereichen ausgearbeitet, um ein klareres Verständnis des notwendigen Funktionsumfangs bei der Unterstützung der Verschüttetensuche zu erlangen.

Ob Systeme eine Datenfusion<sup>6</sup> anbieten, hängt von der Definition des Begriffs „Fusion“ ab. Es herrscht derzeit kein Konsens darüber, was unter *Informationfusion* zu verstehen ist [68, 145]. Zieht man die Definition von *Dubois und Prade* heran, so ist eine Fusion das Zusammenführen und Ausnutzen mehrerer Informationsquellen, um Fragen von Interesse zu beantworten und gute Entscheidungen zu treffen [72]. Dieser Definition zufolge ist die zentralisierte Verwaltung und Darstellung aller Informationen eines verteilten Multi-Agenten-Systems bereits eine Fusion. Aus der Definition von *Hall und Llinas* hingegen geht hervor, dass Informationen nach der Fusion mit größerer Genauigkeit entstehen und damit Schlussfolgerungen zulassen sollten, die bei der Auswertung eines einzelnen Sensors nicht möglich wären [97]. Das heißt, es soll eine Information höherer Abstraktionsstufe entstehen. Systeme für die Trümmersuche, die solche Funktionen anbieten, sind derzeit nicht bekannt.

Die Suche nach Verschütteten ähnelt der Suche nach Minen. Bei der Minensuche werden ebenfalls Objekte geortet, die im Boden vergraben sind. Es kommen mehrere Sensoren zum Einsatz, deren Ergebnisse fusioniert werden. Erwähnenswert sind hier folgende Referenzen: [63, 89, 107, 135, 136, 154]. Der grundlegende Unterschied bei der Minensuche ist jedoch, dass oftmals heterogene Sensoren<sup>7</sup> gleichzeitig an einer Stelle angewandt werden, da sie alle auf einer mobilen Plattform montiert sind. Bei der Fusion liegen die Rohdaten aller Sensoren vor, und auf dieser Informationsgrundlage kann regelbasiert geschlussfolgert werden. Im Gegensatz hierzu werden bei der Suche nach Verschütteten Ortungsmaßnahmen von unterschiedlichen Einheiten konsekutiv oder mit Pausen durchgeführt. Eine regelbasierte Opfererkennung kann sich nicht zwingend auf einen Rohdatensatz stützen, in dem die Ergebnisse aller Ortungsmethoden enthalten sind. Das heißt, mit dem Fusionsalgorithmus sollten auch bei einer unvollständigen Datenbasis Schlussfolgerungen gezogen werden können. Des Weiteren ist die Minensuche nicht zeitkritisch; es bedarf somit keiner Priorisierung der Entschärfung von Minen, die einer Priorisierung der Bergung von Verschütteten gleichkommen würde.

<sup>6</sup>Verschiedene Begriffe existieren, die quasi gleichbedeutend sind. Darunter: *Informations-*, *Sensorfusion* oder *Datenaggregation*.

<sup>7</sup>beispielsweise Metalldetektoren und Georadar beim von *Perrin et al.* vorgeschlagenen System [154].

### Suboptimale Priorisierung

Es ist kein digitales System bekannt, das die Lösung dieses Problems unterstützt. *Blicht* schlägt zwar eine mathematische Formulierung des Optimierungsproblems eines Ortungseinsatzes vor [36]. Er betont aber, dass mathematische Programmieretechniken inadäquat sind, um Entscheidungen bei Ortungseinsätzen effektiv unterstützen zu können.

### Erfahrungskonsolidierung

Die Erfahrungskonsolidierung ist ein Problem, dessen Lösung eine persistente Informationsverwaltung voraussetzt. Informationen müssen möglichst genau schon während eines Einsatzes festgehalten werden. Mit digitalen Informationssystemen kann diese Voraussetzung erfüllt werden.

Auf eine persistente Informationsverwaltung stützt sich so beispielsweise das IT-System *TecBOS.Command*, um einen sogenannten „Lagefilm“ anzubieten [94]. Dies ermöglicht, die Information in ihrem zeitlichen Kontext wiederzugeben und somit eine einfache Aufbereitung des Einsatzablaufs, das heißt den Kenntnisstand zu gegebenem Zeitpunkt zu rekonstruieren. Von einer automatischen Konsolidierung von Erfahrungen kann aber nicht die Rede sein, die eine verbesserte Einschätzung eines ungewissen Ortungsergebnisses mit einer bestimmten Methode ermöglichen würde.

Die Erfahrungskonsolidierung stützt sich auf eine Aufbereitung von Informationen, die mit Indikatoren belegt werden, sodass aus ihnen Lehren gezogen werden können. Beispielhaft sei hier die Leistungsfähigkeit von Ortungsmethoden und die optimale Reihenfolge bei deren Anwendung genannt.

Das System von ERTSystems [80] kann Berichte generieren, die aber nicht speziell für den Ortungseinsatz entwickelt wurden und somit keine Konsolidierung von Erfahrungen bei Ortungseinsätzen in Trümmern ermöglichen.

Das EU-Projekt PRONTO [130] hat u.a. wichtige Beiträge geleistet zur Erforschung einer Einsatzerfahrungskonsolidierung. Dieses Projekt beinhaltet auch die Verarbeitung von Sensordaten und deren Fusion.

Derzeit gibt es kein System, das die Erfahrungskonsolidierung mit speziellen Lösungen für Ortungseinsätze ermöglicht.

### Standortfindung

Die Standortfindung eines Verschütteten stellt die zentrale Aufgabe der Suche in Trümmern dar. Im Folgenden wird zunächst auf die triviale Lösung eingegangen jede Person mit einem Peilsender auszustatten. Dieser Gedanke wurde in Forschungsprojekten von Ländern mit hohem Erdbebenrisiko aufgegriffen, um eine Infrastruktur basierte Lösung zur Lokalisierung von Verschütteten zu schaffen. Falls keine Infrastruktur zur Verfügung steht ist die Lokalisierung von Suchtrupps eine Voraussetzung zur zentralisierten Datenfusion, da die Position eines Ortungsbefundes an Hand der des Suchtrupps festgehalten werden kann.

Mit dem Satellitensystem SARSAT wurde die Flächensuche nach verloren gegangenen Personen in einem unzerstörten Areal wesentlich vereinfacht [61]. Es setzt jedoch voraus, dass Personen beispielsweise mit einem sogenannten „*Personal Locator Beacon*“ ausgestattet sind. Diese Ausstattung erfolgt oft, wenn das Risiko eines Personenverlusts besteht, wie beispielsweise bei einem Kampffliegerpiloten. Das Risiko einer

Verschüttung scheint aber global betrachtet zu gering zu sein, um die Ausstattung der ganzen Gesellschaft mit einem solchen System zu rechtfertigen. Wenn Geräte lokalisiert werden könnten, die ohnehin schon von der Zivilbevölkerung getragen werden, wie beispielsweise das Mobilfunktelefon, so könnte die Flächen- wie Trümmersuche vereinfacht werden. Dies war eines der Forschungsthemen des I-LOV-Projekts. Ein Ergebnis der Untersuchung war, dass die derzeitige Bauweise von modernen Mobilfunktelefonen ihre Ortung nicht zulässt, obwohl sie prinzipiell möglich ist [85, 153].

In eine ähnliche Richtung wurde im Rahmen des japanischen DDT-Projekts geforscht [179]. Eines der Ergebnisse dieses Forschungsprojekts war ein Sensorknoten, der in großer Stückzahl in Gebäuden vorinstalliert werden kann und die Suche nach Verschütteten unterstützt, die bei Bewusstsein sind [23, 24, 92]. Wie sein Name „*Rescue Communicator*“ schon erahnen lässt, handelt es sich dabei um einen autonomen Sensorknoten, der über eine Zwei-Wege-Sprechanlage verfügt und nach Einsturz eines Gebäudes automatisch eine aufgezeichnete Nachricht abspielt sowie Antworten aufzeichnet. Falls das Gerät die Antwort eines Verschütteten registriert, wird automatisch eine Nachricht über eine dynamische Kommunikationsinfrastruktur an eine sogenannte „räumlich-zeitliche“ Datenbank (DaRuMa) übermittelt, deren Inhalt mittels eines GIS namens DiMSIS/DyLU-PAs (s. [109]) die Koordination der Rettungsmaßnahmen ermöglicht.

Beim System von ERTSystems erfolgt die Erfassung der Position von Einsatzkräften sogar innerhalb von Gebäuden automatisch [80]. Es basiert auf der Infrastruktur von an den Einsatzkräften angebrachten aktiven RFID-Tags und GPS-gestützten, kabellosen Sensorknoten, die um den Einsatzort verteilt werden. Die Reichweite solcher Systeme ist bekanntlich beschränkt und hängt stark von den verwendeten Baumaterialien ab. Die Anwendung des Systems funktioniert laut Hersteller bei einem Einfamilienholzhaus, was jedoch bei anderen Szenarien wie beispielsweise Stahlbauten nicht gewährleistet sein muss. Andere tragbare Ansätze, die keine Infrastruktur benötigen, wie beispielsweise an der Einsatzkraft angebrachte inertielle Messeinheiten, kämpfen mit mangelnder Genauigkeit [198]. Die genaue Georeferenzierung von Informationen auch innerhalb eines Gebäudes ist jedoch für die Unterstützung eines Ortungseinsatzes essentiell.

### Allokation

Bei der Allokation der Ressourcen muss vorab bekannt sein, wie viele Ressourcen benötigt werden. Lösungen zu diesem Problem sowie zur konkreten Allokation bei der Suche werden im Folgenden präsentiert.

**Kräftebedarfsschätzung** Nach einem Gebäudeeinsturz sind zwei Kategorien von Hilfsbedürftigen zu unterscheiden: Verletzte und Verschüttete. Die Planung des Ortungseinsatzes muss somit nicht nur den Bedarf an Rettungskräften, sondern auch an Ortungs- und Bergungskräften berücksichtigen.

Kann der Bedarf an Rettungskräften bei einfach zugänglichen Verletzten über deren Anzahl bestimmt werden, so ist die Ermittlung des Bedarfs an Ortungs- und Bergungskräften<sup>8</sup> komplexer. Das THW orientiert sich hierzu an den Zerstörungsgrad, der Anzahl Betroffener und dem Verschüttungsgrad ([43], S. 113 ff.). Grund dafür ist das Informa-

<sup>8</sup>Ortungskräfte übernehmen die Suche nach Verschütteten. Sie kooperieren mit den Bergungskräften, die die Befreiung von gefundenen Verschütteten anstreben.

tionsdefizit, da weder bekannt ist, wie viele und wie tief Personen verschüttet wurden, noch, wie schwer es ist, die angeschlagenen Gebäude abzusuchen. Anders als bei der Flächensuche nach Vermissten außerhalb von Siedlungen, bei der der Bedarf anhand der Größe des Geländes und des Suchareals abgeschätzt werden kann, beinhaltet der Suchbereich beispielsweise nach einem Erdbeben auch teilzerstörte Gebäude. Die Bedarfsermittlung in solchen Gebäuden ist schwieriger, da die Suche Gefahren berücksichtigen und der Zugang zu Räumen oftmals erst geschaffen werden muss. Während eine Unterschätzung des Bedarfs die Rettungswahrscheinlichkeit für Verschüttete verringert, führt eine Überschätzung zu einer Vergeudung von Ressourcen, die im Allgemeinen knapp sind. Im Folgenden werden Methoden vorgestellt, die die Ermittlung des Bedarfs an Ortungs- und Bergungskräften zum Ziel haben.

*Schweier und Markus* präsentieren zwei Methoden, um diesen Bedarf zu schätzen [169]. Die erste Methode basiert vor allem auf einer Bestimmung des Gebäude-Zerstörungsgrades, der durch einen Vergleich der Gebäudestruktur vor mit der nach einem Erdbeben ermittelt werden kann. Für diesen Vergleich schlagen die Autoren einen Laserscan der Gebäude aus der Luft vor. Eine Kategorisierung von Schadensformen hilft zusätzlich, den Bedarf an Ressourcen zu bestimmen. Diese Form der Bedarfsschätzung nicht nur an Einsatzkräften, sondern auch an Hilfsmaßnahmen zum Wiederaufbau wurde zwar ohne Laserscan, jedoch mit Satelliten- und Luftbildern bereits beim Erdbeben 2010 in Haiti eingesetzt [60, 81]. Die zweite Methode berücksichtigt für die Ermittlung des Bedarfs die Anzahl an leicht und schwer Verschütteten, was jedoch oftmals schwer ist.

Eine genauere Bestimmung des Bedarfs mit tieffliegenden unbemannten Drohnen ist derzeit ein Forschungsthema [150], kann aber bisher nur aus der Luft zugängliche Hilfsbedürftige ermitteln. Grund dafür ist, dass die Drohnen mit optischen Sensoren ausgestattet sind und somit nur auf der Basis von sichtbaren Merkmalen Rückschlüsse ziehen können. Im Gegensatz dazu ist die Ortung von Verschütteten aus der Luft mit konventionellen Sensoren nicht möglich. Eine Erkennung von Verschütteten mit einem fliegenden Radarsystem hingegen wurde bereits angedacht [71], jedoch muss die Machbarkeit noch erwiesen werden.

Alternativ kann der Gebäude-Zerstörungsgrad mit Modellen abgeschätzt werden, ohne dass eine Erfassung von Informationen notwendig ist. Die Bestimmung stützt sich auf eine Vorhersage des Zerstörungsgrades bei bekannten Erdbebenkenndaten, noch bevor eine Erkundung des Suchbereichs stattgefunden hat [76, 79, 103].

**Allokation von Ressourcen bei der Suche** Die optimale Allokation von Ressourcen in einem Suchbereich wurde ebenfalls bereits erforscht. Hier sei auf eines der ersten Systeme, KNOBSAR von *Blich et al.*, verwiesen. Es ermöglicht insbesondere die Leistungsfähigkeit von heterogenen Ortungsmethoden bei der Planung eines optimalen Ablauf zu berücksichtigen [36, 37]. Die vorgestellte Problemstellung entspricht der simulierten Umgebung des RoboCupRescue-Wettbewerbs insofern, als dass die Opfer detektiert werden können, sobald sie im Sichtfeld eines Sensors sind.

Bei einer realen Trümmersuche kann ein Verschütteter vorerst nicht mit optischen Systemen gefunden werden. Erst nach ersten Vermutungen werden optische Systeme an Endoskopen oder Erkundungsrobotern eingesetzt, um den Verschütteten nachzuweisen. Hierzu muss oftmals erst mit erheblichem Aufwand ein physischer Zugang geschaffen werden. Des Weiteren wird beim Ressourcenverteilungsproblem nicht der erhebliche

Aufwand der Bergung simuliert<sup>9</sup>. Dies trifft auch bei der Simulation von *Kleiner et al.* zu, die eine optimale Planung in einem Multi-Agenten-System vorschlägt [112].

Bei der maritimen Suche gilt es, einen über Bord gegangenen Seemann oder ein anderes zu Wasser gegangenes Objekt zu finden. Da es sich oftmals um nur ein zu suchendes Objekt handelt, wird dieses auch als Ziel der Suche bezeichnet. Die Suche wird oft unter Zuhilfenahme von Flugobjekten durchgeführt, da mit ihnen ein Suchbereich schneller erreicht und abgesucht werden kann. Aufgrund von Meeresströmungen ist das Ziel nicht stationär. Die Entscheidungsunterstützung besteht darin, den Suchbereich einzuschränken (was der Zonierung entspricht) und einen optimalen Suchplan für die Sucheinheiten zu erstellen. Dies erfolgt unter Berücksichtigung unter anderem folgender Umgebungsparameter: letzte bekannte Position, Strömungsrichtung, -stärke und verstrichene Zeit seit Wassergang. Die eingesetzten Systeme unterstützen vor allem die Einsatzleitstelle, die nur wenige Sucheinheiten – meistens nur eine – zu verwalten hat. Es gibt zwei kommerziell erhältliche Systeme, die solche Funktionalitäten aufweisen: SARIS von BMT [38] und SARMaster von Honeywell Global Tracking (ehemals EMS) [18]. Das neue „Search and Rescue Optimal Planning System“ (SAROPS) der US amerikanischen Küstenwache, das das alte System „Computer-Assisted Search Planning“ CASP seit 2007 ablöst, bindet Wetterdienste, geplante Routen von vermissten Objekten ein und erstellt einen optimalen Suchplan in Form eines Pfades [115]. Die Suchpläne werden aber vor Suchbeginn erstellt und berücksichtigen nur eine Sucheinheit. Fortgeschrittener sind die Arbeiten von *Bourgault et al.*, die es ermöglichen mehrere autonome Sensorplattformen während der Suche optimal zu koordinieren [39].

Das System MobiKAT soll bei der Flächensuche nach Vermissten durch Optimierung des Einsatzes von Kräften und Mitteln unterstützen [67]. Aus der Quelle geht jedoch nicht hervor, wie die Optimierung umgesetzt worden ist.

### Zonierung

Da bei der Flächensuche wie bei der Trümmersuche das Suchareal häufig systematisch und vollständig abgesucht wird und der Suchplan sich an das Gelände und der Ausgangssituation der Suche anpassen muss, wird oftmals versucht die Suche durch Zonen zu beschränken. Meistens gilt es, ein einziges Ziel in einem unbestimmten Areal zu finden. Hervorzuheben sind Entscheidungsunterstützungssysteme für das Auffinden von abgestürzten Flugzeugen. Im Militärischen spricht man hierbei von „Combat Search and Rescue“ (CSAR). Wie bei der maritimen Suche soll auch hier ein Suchbereich eingegrenzt werden, indem unter anderem Schätzungen zur Geschwindigkeit, Flughöhe und Richtung berücksichtigt werden. Der Demonstrator SARPlan weist solche Funktionalitäten auf [20]. Wichtig ist auch hier festzuhalten, wo bereits gesucht worden ist, da üblicherweise die Annahme einer stationären Zielposition getroffen werden kann.

Das Modell von *Ciolfi et al.* für die Flächensuche im Gebirge basiert auf Geländeparametern und physiologischen Variablen bezüglich des Vermissten [54]. Der maximale Suchbereich wird auf einer Karte mit Isochronen um die zuletzt bekannte Position des Vermissten eingezeichnet. Das System hilft somit den Flächensuchmannschaften bei der Eingrenzung des Suchbereichs, wobei, anders als bei CSAR, nicht zwingend von einem stationären Ziel ausgegangen werden kann.

<sup>9</sup>s. hierzu die Kommentare zur Vereinfachung des mathematischen Problems durch *Blich et al.* [37]

Digitale Systeme für die Zonierung oder strukturelle Triagen bei der Suche nach Verschütteten sind nicht bekannt. Sie wäre jedoch durchaus sinnvoll.

### **Pfadplanung**

Es gibt verschiedene Optimierungsalgorithmen zur Pfadplanung. *Kleiner* et al. schlagen im Anwendungsfall der Krisenbewältigung den Algorithmus von *Dijkstra* vor, bei dem die optimale Route folgende Kriterien berücksichtigt: Distanz, Blockaden, Kreuzungen und andere, bekannte Einsatzkräfte, die auf der gleichen Route reisen [111].

Des Weiteren sei auf die Systeme der maritimen Suche und der Flächensuche verwiesen, die in der Regel auch optimale Suchpfade berechnen [20, 115]. Solche Systeme kommen bei der Trümmersuche nicht zum Einsatz, obwohl sie durchaus sinnvoll wären.

### **Trassenlegung**

Den Problemen der Trassenlegung aus kontinuierlich aufgezeichneten Wegpunkten hat sich *Brüntrup* et al. gewidmet [41]. Sie entsprechen dem Problem der simultanen Lokalisierung und Kartierung. Bei einem Ortungseinsatz sind zwei verschiedene Karten zu unterscheiden: zum einen die Karte für Einsatzkräfte zu Fuß und zum anderen die Karte für die Fortbewegung mit Einsatzfahrzeugen.

### **Raumplanung**

Die Raumplanung erfordert als Voraussetzungen ausreichende Kommunikation von Informationen und Darstellung der Lage. Die anschließend erforderliche Optimierung aus Trassenlegung und geschätztem Bedarf beim Aufsuchen von Stationen wie beispielsweise dem Versorgungszelt, der Ablage von Verletzten, etc. ist komplex. Dem Autor sind derzeit keine digitalen Entscheidungsunterstützungssysteme für solche Probleme bekannt. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass jegliche digitale und konventionelle Lage-darstellung Grundvoraussetzungen für die Entscheidungsfindung bei der Raumplanung darstellen.

## **2.3 Zusammenfassung**

Grundsätzlich sei bemerkt, dass heutzutage keine der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben ein angepasstes IT-System für Ortungseinsätze in Trümmern benützt, wie beispielsweise aus der Auflistung der benutzten Technologien zur Katastrophenbewältigung nach dem Ji-Ji-Erdbeben 1999 in Taiwan von *Chiu* et al. hervorgeht [52].

Die Problemstellungen, die aus der Ungewissheit der erfassten Informationen bei einem Ortungseinsatz in Trümmern hervorgehen, werden von keinem System gelöst. Aufgrund der ungenügenden Genauigkeit und Robustheit von Lokalisierungssystemen für mobile Einheiten ist auch eine Verarbeitung von Ortungsergebnissen nur subjektiv möglich. Die Fusion von Informationen erfolgt nur bei der Minensuche, bei der aber alle Ergebnisse gleichzeitig erfasst werden und somit eine genaue Lokalisierung jedes einzelnen Messergebnisses nicht notwendig ist. Die aktuelle Position der Bewegungsplattform, auf der die Messgeräte angebracht sind, reicht aus, um die Mine zu lokalisieren.

Bei der maritimen Suche helfen Modelle über Strömungen, die Zielposition einzugrenzen. Dieses Problem stellt sich jedoch bei der Verschüttetensuche gar nicht.

Eine Konsolidierung von Erfahrungen mit Ortungsmethoden ist derzeit unmöglich, da es kein vorgeschriebenes Symbol für einen ungewissen Ortungsbefund je Ortungsmethode gibt. Ein ungewisser Ortungsbefund wird mit dem Symbol eines Verschütteten angegeben. Eine Unterscheidung zwischen einer mit einer bestimmten Ortungsmethode gemessenen Verschüttetenposition und dem tatsächlichen Fundort eines Verschütteten wird somit unmöglich, wäre jedoch für die Konsolidierung notwendig.

Die Verantwortung und somit die Optimierung der Führung unterliegt nach wie vor dem Einsatzleiter, der sich auf zentralisierte Informationen stützen kann, die von einem digitalen, verteilten Informationssystem verwaltet werden. Dies ist der aktuelle Stand der Technik. Funktionen zur Optimierung oder Konsolidierung von Ortungseinsätzen in Trümmern, die die Verschüttetensituation berücksichtigen, scheinen nicht auf dem aktuellen Stand der Technik zu sein.

Zusammenfassend bietet Tabelle 2.1 einen Überblick über die wesentlichen erwähnten Systeme an. Viele der erwähnten Systeme können Teilaufgaben bei der Suche nach Verschütteten unterstützen. Es ist jedoch klar hervorzuheben, dass keines der digitalen Systeme explizit die Eingabe oder Darstellung von ungewissen Informationen zu Verschütteten unterstützt, deren Berücksichtigung für den Erfolg eines Ortungseinsatzes ausschlaggebend ist. Die Verarbeitung solcher ungewissen Informationen in Form einer maschinellen Informationsfusion kann demnach ebenfalls nicht dem aktuellen Stand der Technik entsprechen, um einen Ortungseinsatz in Trümmern durch digitale Informationsverwaltung zu unterstützen.

**Tabelle 2.1:** Funktionsübersicht für Informationssysteme, die einen Ortungseinsatz unterstützen. Die Fusion ist allgemein die Vereinen heterogener Informationsquellen, wobei die Sensorfusion aus einzelnen Informationen, Aussagen höherer Qualität zur Standortfindung ermöglicht. Mit Ortung ist die Bestimmung der Position von mobilen Einheiten am Einsatzort gemeint.

Systemname	Multi-Agenten System			Fusion			Ortung		Optimierung				Bemerkungen
	Heterogene Agenten	Robuste Kommunikation	Comp. für Einsatzkraft	GIS	Ungewisse, negative Information	Sensorfusion	Infrastruktur	In Gebäuden	Pfadplanung	Allokation	Simulation	Erfahrungskon-solidierung	
SARPlan [20]				✓	(✓)				✓	✓	✓		Suche nach Flugzeugen
OnSite ERT [80]				✓			GPS, RSS	✓			(✓)		Lokalisierung mobiler Einheiten in Gebäuden
Ciolfi et al. 2006 [54]				✓						✓	✓		Unterstützung bei Vermisstensuche durch Isochrone
SARMaster [18], SARIS [38]				✓	(✓)		SAR-SAT		✓	✓			Maritime Suche
DMT, EqSIM [76, 129]			✓	✓						✓			Simulation von Erdbeben Konsequenz
DIMSIS / DyLUPAs [134]	✓		✓	✓			GPS						Konzept der zeitlichen Gültigkeit
KNOBSAR [37]	✓			(✓)					✓	✓			Demonstrator nicht für den Einsatz geeignet
Kleiner et al. 2006 [111]			✓	✓			GPS		✓				Lösung des Datenintegrationsproblem in Gebrauch
DeNIS II <sup>plus</sup> [158]				✓									Gutachten durch lokale RFID Tags gespeichert
inMeeting, ARMS [155]	✓		✓	✓			GPS		✓	✓			Position wird nicht zwingend weitergegeben
Minensuche [107, 136, 154]				(✓)	(✓)	✓	(✓)	(✓)					

### 3 Grundlagen zu Ortungsmethoden

Bei einem Ortungseinsatz kommen unterschiedliche Ortungsmethoden zum Einsatz. Unter dem Begriff „Ortungsmethoden“ werden in dieser Arbeit Einsatzkräfte sowohl ohne als auch mit Unterstützung durch biologische (Suchhunde) oder technische Ortung (Messgeräte) verstanden, die bei der Suche nach Verschütteten Informationen über deren Verbleib generieren können. Die Erkundung und die Suche nach Verschütteten durch autonome Roboter ist derzeit Forschungsinhalt. Sie wird jedoch in der Praxis noch nicht eingesetzt. Daher steht die Einsatzkraft nach wie vor im Mittelpunkt aller Ortungsmaßnahmen, da sie die erfassten Informationen vor der Weitergabe an die Führungsstelle evaluiert. Die Ergebnisse von unterschiedlichen Ortungsmethoden ermöglichen nicht immer die gleiche Aussage zum Verbleib eines Verschütteten. Daher ist ihre Charakterisierung grundlegend für die Verarbeitung von Ergebnissen. Grundsätzlich resultiert eine Ortungsmaßnahme in einer binären Aussage zum Verbleib eines Verschütteten. Ergibt eine Ortungsmaßnahme an der Stelle  $x_M$  ein Indiz für die Existenz eines Verschütteten, so spricht man von einem positiven Befund:  $x_B = 1$ . Falls es zu keinem Indiz kommt, spricht man von einem negativen Befund:  $x_B = 0$ . Das Ergebnis einer Ortungsmaßnahme kann zusätzlich zu dieser binären Aussage auch eine Messung  $z_M$  der Position des Verschütteten  $x_V$  enthalten. Es sei darauf hingewiesen, dass die Position  $x_M$  einer mobilen Ortungsmethode, bei der ein positiver Befund generiert wurde, den Suchbereich eingrenzt und in gewisser Weise einen Hinweis auf  $x_V$  gibt.

Die Flächensuche, die während der Erkundung nach einem Schadensereignis erfolgt, ist von der Ortung zu unterscheiden. Die Erkundung erfolgt oftmals durch Einsatzkräfte oder Lufterkennung (s. [150, 164]), vor allem bei Ausdehnung der Katastrophe auf ein großes Gebiet und erfasst systematisch den ganzen Unglücksort. Nur leicht auffindbare Opfer können üblicherweise während der Erkundung gerettet werden. Die darauf folgenden Ortungsmaßnahmen haben die Rettung schwer auffindbarer Verschütteter zum Ziel. Aufgrund der Zeit- und Ressourcenbeschränktheit werden bei der Trümmersuche Ortungsmaßnahmen üblicherweise gezielt auf erfolgversprechende Positionen beschränkt, vor allem in großen Katastrophengebieten.

Eine detaillierte, schematische Beschreibung der Informationserfassung und -verarbeitung während eines Einsatzes soll vorab präsentiert werden (Abschnitt 3.1).

Um eine angepasste Darstellung von Ortungsergebnissen zu ermöglichen ist eine Differenzierung von Ortungsmethoden erforderlich. Aus diesem Grund sollen diese vorab nach drei Messmethoden klassifiziert werden, die sich auf eine Einführung in die zwei wesentlichen Kenngrößen „Detektionsgenauigkeit“ und „Positionsgenauigkeit“ stützen (Abschnitt 3.2).

Es folgt eine Übersicht aller derzeit verfügbaren Ortungsmethoden für die Verschüttetensuche (Abschnitt 3.3), die sich auf diese allgemeine Klassifizierung stützt.

Im Rahmen des I-LOV-Projektes wurde ein Radar gestütztes Detektionsgerät weiterentwickelt. Als Grundlage für eine angepasste Berücksichtigung eines Ortungsergebnisses mit diesem Detektionsgerät wurde ein Messmodell erarbeitet. Es stützt sich auf die Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen im Boden (Abschnitt 3.4).

### 3.1 Ablauf eines Ortungseinsatzes in Trümmern

Ortungseinsätze in Trümmerlagen lassen sich in fünf Phasen strukturieren. Diese sogenannte 5-Phasentaktik entspricht der Richtlinie der *Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes* zu den „Maßnahmen der Feuerwehr und anderer Hilfskräfte nach Gebäudeeinstürzen“ [178] und der Dienstvorschrift 200: „Der Bergungszug“ des Technischen Hilfswerks ([44], S. 35 f.). Die folgende Beschreibung eines typischen Einsatzablaufs bei der Suche nach Verschütteten in einem eingestürzten einzelnen Haus ermöglicht es, die Anforderungen an eine digitale Informationsverwaltung und -verarbeitung einschließlich der Fusion von Ortungsergebnissen abzuleiten, die im Kapitel 4 näher dargestellt werden. Diese Beschreibung beschränkt sich vorerst auf Detektionsmethoden (s. Abschnitt 3.2). Bei diesen wird angenommen, dass die Position an der die Messmethode ausgeschlagen hat, die beste Schätzung der Position des Verschütteten ist.

Der Ablauf eines Ortungseinsatzes nach Einsturz mehrerer Gebäude ist mit der folgenden Beschreibung vergleichbar, da die Gebäude einzeln abgearbeitet werden. Unterschiedlich ist jedoch die größere Komplexität bei der Priorisierung von Maßnahmen und der Allokation von Ressourcen.

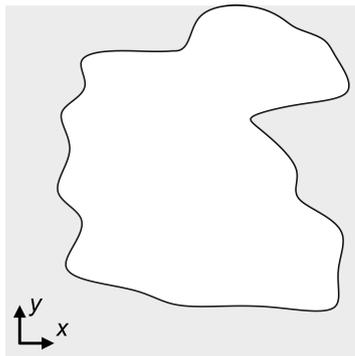
#### Beispiel 3.1: Informationsverarbeitung bei Ortungseinsätzen in Trümmern

Die Einsatzkräfte verfügen am Anfang eines Ortungseinsatzes meistens über wenige Informationen über den Einsatzort, da sie anstatt eines ihnen bekannten Gebäudes mit einem teileingestürzten oder gar einem Trümmerhaufen (auch „Trümmerkegel“ genannt) konfrontiert werden. Aus diesem Grund werden in einer ersten Phase nach Einsturz eines Gebäudes die Situation (auch „Lage“ genannt) systematisch erkundet. Während dieser Phase 1 werden nur die Randtrümmer eines Gebäudes erkundet und Erstmaßnahmen wie beispielsweise das Absichern des Einsatzortes durchgeführt. Dabei wird notiert, wo ein Opfer gefunden wurde. Am Ende der Maßnahme wird festgehalten, welche Randtrümmerbereiche abgesucht worden sind.

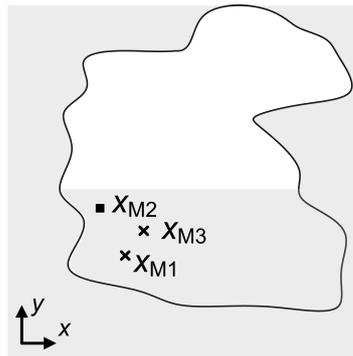
In Phase 2 erfolgt die systematische Erkundung des oder der Trümmerkegel. Dabei werden leicht erkennbare und zugängliche Opfer gerettet.

Erst in Phase 3 beginnt die Ortung und Bergung von Verschütteten. Dabei werden die nicht zugänglichen Bereiche im Trümmerkegel durchsucht. Die biologische Ortung – falls verfügbar – wird aufgrund ihrer Schnelligkeit vorzugsweise als erste eingesetzt. Falls sich ein ungewisser Befund ergibt, beispielsweise das auffällige Verhalten eines Hundes, wird versucht, gezielt an dieser Position mit weiteren Ortungsmaßnahmen die Präsenz eines Verschütteten zu verifizieren und seine Position unter den Trümmern genauer auszumachen. Diese iterative Vorgehensweise ergibt pro vermuteter Verschüttetenposition positive ( $x_B = 1$ ) wie negative ( $x_B = 0$ ) Befunde an den Stellen  $x_M$  von Einsatzkräften mit oder ohne Unterstützung von biologischen oder technischen Ortungsmethoden. Die positiven Befunde finden sich nicht zwingend an derselben Stelle (s. Abb. 3.1(b)). Nach oder noch während des Absuchens des gesamten Areals (s. Abb. 3.1(c)) wird versucht, Ortungsbefunde zu gruppieren, die vermeintlich auf denselben Verschütteten hinweisen (s. Abb. 3.1(d)). Dies wird in Assoziationsmatrizen  $\Omega$  festgehalten. Gleichzeitig können Vermutungen über die Position eines Opfers eine Rolle spielen, die nicht durch einen Ortungsbefund bekräftigt werden, sondern auf der Vermutung einer Einsatzkraft, der Aussage eines Augenzeugen sowie einem Hinweis Dritter beruhen. Eine solche Vermutung wird in Abb. 3.1(e) mit  $\hat{x}_{V5}$  dargestellt.

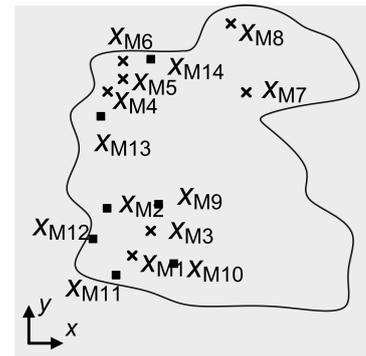
In Phase 4 erfolgt das gezielte Vordringen zu den georteten Personen. Falls sie ge-



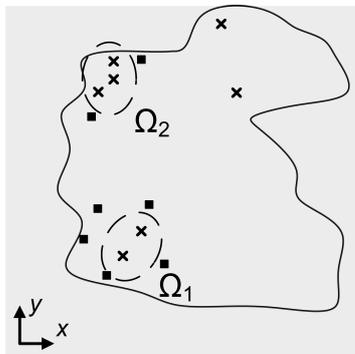
(a) Bevor der Einsatz beginnt, ist über den den Einsatzort wenig bekannt. Der Trümmerkegel (umrandete Fläche) wird vorerst nicht erkundet, nur die Randtrümmer werden abgesucht (in grau).



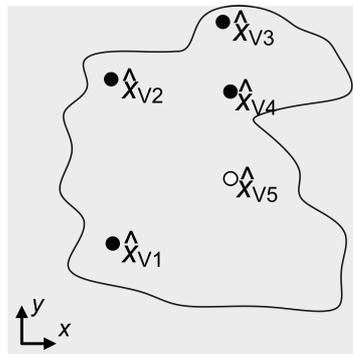
(b) Positionen von Ortungsbefunden an den Stellen  $x_M$ : Kreuze weisen auf erfolgreiche ( $x_B = 1$ ), Quadrate auf unerfolgreiche Ortungsmaßnahmen ( $x_B = 0$ ) hin. Der Trümmerhaufen wurde nur teilweise erkundet (in grau).



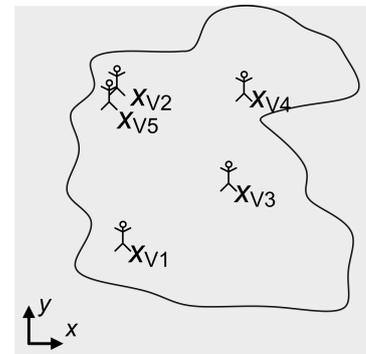
(c) Das Trümmerfeld wurde vollständig erkundet. Eine oder unterschiedliche Ortungsmethoden wurden für die Suche verwendet: alle Informationen liegen für die Verarbeitung bereit.



(d) Verarbeitung der Ortungsbefunde: Assoziationshypothesen  $\Omega$  werden basierend auf der Distanz zwischen positiven Ortungsbefunden gemacht.



(e) Geschätzte Verschüttetenpositionen ( $\hat{x}_V$ ) resultieren aus der Verarbeitung. Manche Schätzungen (volle Punkte) basieren auf Messungen an den Stellen  $x_M$ , andere wiederum nur auf der Vermutung einer Einsatzkraft oder der Aussage eines Augenzeugen (s.  $\hat{x}_{V5}$  Kreis).



(f) Anhand der tatsächlichen Positionen  $x_V$  gefundener Verschütteter kann im Vergleich zu den Ortungsbefunden  $x_M$  und den geschätzten Verschüttetenpositionen  $\hat{x}_V$  die Leistung von Ortungsmethoden und der Informationsverarbeitung analysiert werden.

**Abb. 3.1:** Typisches Szenario eines Ortungseinsatzes aus der Vogelperspektive in zeitlicher Abfolge beginnend in Abb. 3.1(a) bis 3.1(f). Abbildungen 3.1(b) und 3.1(c) stellen den Informationserfassungsprozess dar, wohingegen Abbildungen 3.1(d) und 3.1(e) die Informationsverarbeitung darstellen, die letztendlich in den Handlungsvorschlägen mit den geschätzten Positionen ( $\hat{x}_V$ ) endet.

funden wurden, ist ihre wahrhaftige Position  $x_V$  bekannt. Eine Priorisierung der Bergungsmaßnahmen bei mehreren vermuteten Verschüttetenpositionen und beschränkten Ressourcen erfolgt nach dem Kriterium der Erfolgswahrscheinlichkeit. Nachdem ein Verschütteter erfolgreich gerettet wurde, erfolgt in der Regel eine sogenannte „Nachortung“. Diese soll ausschließen, dass weitere Verschüttete an der gleichen Position übersehen werden.

Erst wenn das gesamte Areal durchsucht worden ist, beginnen in Phase 5 die abschließenden Maßnahmen, bei denen Trümmer systematisch abgetragen werden. Da der

Trümmerkegel meist instabil ist, kann das Abtragen von Trümmern zu unkontrollierten Verschiebungen führen. Um eine Gefährdung von Überlebenden in Hohlräumen durch eine solche Verschiebung zu minimieren, wird die Phase 5 erst so spät wie möglich eingeleitet. Dieses Abtragen ermöglicht idealerweise, alle Positionen der noch nicht gefundenen Verschütteten in Erfahrung zu bringen.

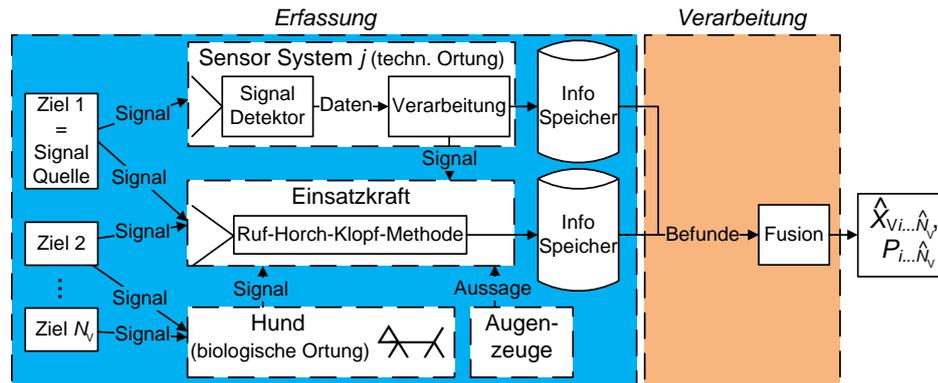
### Beispiel 3.2: Analyse der Leistung eines Suchprozesses

Nach der Beschreibung im vorangegangenen Beispiel 3.1 ermöglicht eine Betrachtung in zeitlich umgekehrter Reihenfolge eine Analyse der Informationsqualität und -verarbeitung während eines Einsatzes. Diese Analyse kann Erfahrungen konsolidieren, wenn die Leistungsfähigkeit der Ortungsmethoden für spätere Einsätze genauer bekannt wird.

Ein Vergleich der Ist-Situation der Verschüttetenpositionen (s. Abb. 3.1(f)) und der Ergebnisse verarbeiteter Informationen, die ein Vordringen zu Verschütteten in Phase 4 ermöglichten (s. Abb. 3.1(e)), lässt erkennen, dass die Positionsschätzung  $\hat{x}_{M3}$  unbegründet war. Im Gegensatz dazu verhalf die Positionsschätzung  $\hat{x}_{V5}$  dazu, ein Opfer zu finden, obwohl sie sich nicht auf einen Ortungsbefund, sondern auf eine Vermutung Dritter stützte.

Ein weiterer Vergleich der Ergebnisse der Verarbeitung (s. Abb. 3.1(e)) und der Ist-Situation der Ortungsbefunde (s. Abb. 3.1(d)) ergibt, dass sich  $\hat{x}_{V1}$  auf richtige Befunde und eine richtige Assoziationshypothese  $\Omega_1$  stützte. Die erfolglosen Ortungsmaßnahmen an den Stellen  $x_{M2}$ ,  $x_{M9}$ ,  $x_{M10}$ ,  $x_{M11}$ ,  $x_{M12}$  haben diese Vermutung mit einer auffällig runden Struktur bekräftigt. Die Assoziation von  $x_{M4}$ ,  $x_{M5}$  und  $x_{M6}$  zur Hypothese  $\Omega_2$  war hingegen falsch. Aufgrund dieser Assoziationshypothese hat der Entscheidungsträger sich nur auf die Schätzung einer einzigen Position  $\hat{x}_{V2}$  stützen können. Diese einzelne Positionsschätzung stellte sich jedoch im Nachhinein als falsch heraus, da zwei Verschüttete ( $x_{V2}$  und  $x_{V5}$ ) gefunden wurden. Es hätten zwei sein sollen. Dies ist jedoch unproblematisch, weil die Nachortung in der Regel die Detektion des zweiten Opfers ermöglicht und somit das mangelnde Auflösungsvermögen von Ortungsmethoden kompensiert.

Bei einem Ortungseinsatz wird versucht, alle relevanten Informationsquellen heranzuziehen, die eine Aussage über den Verbleib eines Verschütteten erlauben. Allgemein ist ein Befund eine jegliche Information, die zum Auffinden eines Verschütteten dienen kann. Als Quellen können Augenzeugen oder aber Ergebnisse der biologischen Ortung, von Menschen oder Messgeräten – technische Ortung – dienen, wie es Abb. 3.2 darstellt. Problematisch ist, dass Aussagen von Augenzeugen meistens nur die Präsenz eines vermeintlich Verschütteten belegen, aber die Positionsangabe fehlt oder sich meist nur vage am baulichen Zustand eines Gebäudes vor seinem Einsturz orientiert. Das Ziel, die Existenz und Position  $x_V$  eines Verschütteten auszumachen, wird aber nicht immer unmittelbar erreicht, sondern muss erst über die Auswertung ungewisser Suchergebnisse erarbeitet werden. Dabei sollten nicht nur ungewisse, positive Messergebnisse als Indizien für die Präsenz eines Verschütteten berücksichtigt werden, sondern auch nicht erfolgreiche Ortungsmaßnahmen, da deren Berücksichtigung gegebenenfalls Zeitvergeudung durch Fehlentscheidungen vermeiden hilft. Ortungs- und Bergungsexperten vom THW haben angegeben, dass bei fünf positiven Suchergebnissen von einem „sicheren“ Indiz für die Präsenz eines Verschütteten ausgegangen wird, der es ihnen erlaubt, Bergungsmaßnahmen in Erwägung zu ziehen. Bei fünf negativen gehen die Experten hingegen davon aus, dass kein Verschütteter vorliegt. Diese Schwellwerte sollten in die Klassifikationsregel für die Entscheidung einfließen, ob ein Verschütteter vorliegt oder nicht.



**Abb. 3.2:** Heterogene Suchmethoden für die Detektion und Lokalisierung von Verschütteten<sup>1</sup>. Es können mehrere unterschiedliche technische Ortungsmethoden  $j$  und Suchtrupps mit gleicher Ortungsmethode zum Einsatz kommen. Die Einsatzkraft ist für die Erfassung und Verarbeitung der Signale von zentraler Bedeutung, da sie schlussendlich die Wahrscheinlichkeit  $P$  für die Existenz eines Verschütteten an der vermuteten Verschüttetenposition  $x_V$  abschätzt.

Bei solch einem Einsatz werden die erzeugten Rohdaten von der jeweiligen Ortungsmethode selbst verarbeitet, und nur die Ortungsbefunde sowie gegebenenfalls ihre geschätzte jeweilige Messunsicherheit wird zentral erfasst und weiterverarbeitet. Das Ergebnis dieser zentralen Verarbeitung aller Ortungsbefunde erlaubt eine Entscheidung über das Einleiten von Bergungsmaßnahmen, sofern die Existenz und die Position eines Verschütteten mit ausreichender Gewissheit bekannt sind. Deren Bewertung ist jedoch bei heutigen Einsätzen subjektiv.

Dieser zentrale Verarbeitungsprozess entspricht der Fusion von Informationen. Er kann mit dem „Data-Feature-Decision“ (DFD)-Modell von *Dasarathy* beschrieben werden [68]. Dieses Modell beschränkt sich auf die drei folgenden Abstraktionsebenen für die „Eingabe“ und „Ausgabe“ eines Fusionsprozesses: Daten, Befunde und Entscheidungen<sup>2</sup> [33]. Der in dieser Anwendung zutreffende „multi-level“<sup>3</sup>-Fusionsprozess erhält als Eingabe „Befunde“ und erlaubt als Ausgabe „Entscheidungen“, die auf Grundlage der Wahrscheinlichkeit  $P$  eines Verschütteten und seiner geschätzten Position  $\hat{x}_V$  getroffen werden können.

Für die Auswahl der Reihenfolge angewendeter Ortungsmethoden wird üblicherweise ihr Aussagepotential mitberücksichtigt. Falls der Raum, in dem der Verschüttete fest sitzt, beispielsweise nicht mit Videoendoskopen oder Erkundungsrobotern einsehbar ist, soll eine mehrfache Anwendung von Detektions- und Lokalisierungs-, beispielsweise akustischen Methoden (etwa dem sogenannten „Geophon“) zu einer höheren Detektionswahrscheinlichkeit und genaueren Positionsschätzung führen.

Bislang wird eine iterative Suche angewandt, bei der die zuletzt erfasste positive Messung (das heißt eine, die auf einen Verschütteten hinweist) die Positionsschätzung

<sup>1</sup>Eine Detektionsmethode ermöglicht die Detektion eines Verschütteten durch ein binäres Messergebnis. Ein positives Messergebnis schränkt den Bereich ein, wo sich ein Verschütteter befinden kann. Eine Lokalisierung hingegen lokalisiert einen Verschütteten, indem das Messergebnis eine Aussage über die Position im Raum ermöglicht (Distanz und/oder Richtung).

<sup>2</sup>aus dem Englischen für: data, feature, decision

<sup>3</sup>Dies ist eine Erweiterung des ursprünglichen DFD-Konzepts durch *Nakamura* et al., um Fusionsprozesse zu beschreiben, die in einer höheren Abstraktionsebene enden [145].

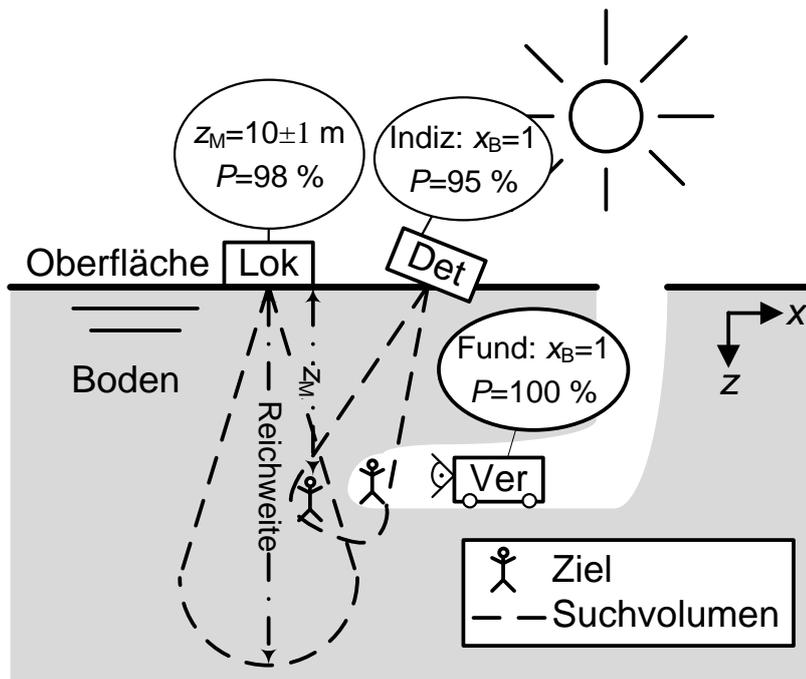
eines Verschütteten darstellt [173].

Diese Vorgehensweise setzt voraus, dass zwischen Messungen verglichen werden kann, um ähnlich einer Gradientensuche zu einem Maximum nach dem Kriterium der Signalstärke oder -qualität gelangen zu können. Grund für diese Vorgehensweise ist die Messmethode der heute üblichen Ortungsmethoden, bei der es sich entweder um Ausschlag-Mess- oder um Verifikationsmethoden handelt. Die Lokalisierung, das heißt eine indirekte Messung der Position eines Verschütteten, ist derzeit nicht Stand der Technik. Sie wurde im Rahmen des I-LOV-Projektes jedoch angestrebt.

Die iterative Vorgehensweise ist nicht unbedingt optimal, da meistens nur ein qualitativer Vergleich von Ortungsergebnissen erfolgt, ohne Berücksichtigung der unterschiedlichen Methoden. Außerdem bleiben negative Messergebnisse (das heißt Messungen, die auf keinen Verschütteten hinweisen) bei der Bewertung der Position und Existenz von Verschütteten unberücksichtigt, da sie nicht erfasst werden.

### 3.2 Allgemeine Charakterisierung von Ortungsmethoden

Drei Klassen von Messmethoden<sup>4</sup> können unterschieden werden: Detektions-, Lokalisierungs- und Verifikationsmethoden. Diese werden in Abb. 3.3 schematisch dargestellt.



**Abb. 3.3:** Schematische Darstellung von Befunden der drei Klassen von Ortungsmethoden: Detektion (oder Ausschlag-Messmethode), Lokalisierung (oder indirekte Messmethode) und Verifikation (oder direkte Messmethode). Befunde unterscheiden sich in ihrer Aussage (nur binär oder im Messergebnis) und in der Wahrscheinlichkeit  $P$  mit der sie die Präsenz eines Verschütteten detektieren können.

Die Charakterisierung kann nach Leistungsfähigkeit und Einsatztauglichkeit erfolgen, die mit Kriterien wie „Gewicht“, „Aufwand des Aufbaus und der Benutzung“, „Sicherheits-

<sup>4</sup>Als Referenz für die benutzte Terminologie sei auf die GUM [46] oder die DIN 1319 [187] verwiesen.

aspekte“ und „Flächenleistung“ beschrieben werden können. Unter „Flächenleistung“ versteht man die Fläche oder das Volumen, das in einem gewissen Zeitraum durchsucht werden kann. Ein „Sicherheitsaspekt“ ist beispielsweise die Richtlinienkonformität beim Explosionsschutz des Geräts, für den Fall, dass es in einem explosionsgefährdeten Gebiet eingesetzt wird. All diese Aspekte sind relevant für die Anwendung einer Ortungsmethode, jedoch verhelfen sie nicht zu einer objektiven Verarbeitung von Ortungsergebnissen, sofern sie nicht differenziert betrachtet werden.

Für die Verarbeitung von Messergebnissen ist die Differenzierung von Ortungsergebnissen jedoch essentiell. Die Detektions- und die Positionsgenauigkeit sind zwei Charakteristika, mit denen die Ortungsergebnisse in ihrer Qualität differenziert werden können. Eine Einschätzung ihrer Genauigkeit ist aber oft nur approximativ möglich, da sie von mehreren nicht oder nur sehr schwer erfassbaren Einflussgrößen abhängen.

Eine gute Veranschaulichung dieser Problematik bietet die biologische Ortung. Auch wenn Hunde zielgenau wittern und teilweise in Trümmerlagen bis zum Verschütteten vordringen können, sind sie in manchen Situationen nicht fähig, die Position des Verschütteten richtig anzuzeigen. Falls beispielsweise die Witterung des Verschütteten durch Luftströme weitergeleitet wird oder durch einen Raum ohne Luftaustrittsmöglichkeit zurückgehalten wird, ist die biologische Ortung ungenau oder gar unmöglich. Ist dem Hundeführer die Existenz oder Orientierung der Luftströmung unbekannt, so kann die Stelle, bei der der Hund einen Verschütteten detektiert hat, stark von der Position des Opfers abweichen, obwohl ein Hund üblicherweise „gute“ Ortungsergebnisse erzielt. Unter gut wird hier verstanden, dass der Hund eine hohe Detektions- und Positionsgenauigkeit bei einer niedrigen Fehlalarmrate erzielt.

Aus diesem Beispiel der Hundeortung wird klar, dass eine allgemeine Gültigkeit quantitativer Charakterisierungen von Ortungsmethoden nicht gegeben sein kann, ohne die Einflussgrößen einer Messung oder Wahrnehmung einer Umgebung zu berücksichtigen. Um die Einflussgrößen zu identifizieren, bedarf es einer systematischen Protokollierung der Umgebung, der Ortungsbefunde und der gefundenen Verschüttetenpositionen, was in bisherigen Ortungseinsätzen nicht geleistet wird.

Auch wenn eine allgemein gültige Charakterisierung von Ortungsmethoden schwierig oder oft nicht möglich ist, werden dennoch Definitionen für die Detektionsleistung und Positionsgenauigkeit vorgeschlagen. Dieser Vorschlag basiert auf der Hoffnung, dass in Zukunft Erfahrungswerte konsolidiert werden können. Diese Konsolidierung soll dann zu einer genaueren Einschätzung der Genauigkeit eines Ortungsergebnisses verhelfen.

### 3.2.1 Detektionsgenauigkeit

Die Detektion eines Opfers entspricht einem binären Klassifikationsproblem. Es gibt vier Fälle, die in einer sogenannten „Wahrheitsmatrix“ dargestellt werden können (s. Tabelle 3.1) [126]. In dieser Matrix werden den möglichen Zuständen Beobachtungen als Indizien für die Präsenz eines Verschütteten gegenübergestellt.

Diese Wahrheitsmatrix ist die Grundlage, auf der eine Aussage über die Klassifikationsleistung eines Messgeräts getroffen werden kann. Sie erlaubt jedoch keine Berücksichtigung der besonderen Umstände, die die Fähigkeit einer Ortungsmethode beeinflussen, eine Tatsache zu beobachten. Die Detektion eines verschütteten Opfers hängt von weiteren Zufallsgrößen ab. Zum einen ist der Abstand und das Material zwischen

**Tabelle 3.1:** Wahrheitsmatrix für die Detektion von Opfern durch einen Ortungsbefund weist vier Möglichkeiten auf.

	Zustand	Opfer	kein Opfer
Beobachtung			
Indiz		Richtig Positiv	Falsch Positiv
kein Indiz		Falsch Negativ	Richtig Negativ

der Messeinrichtung und des Opfers unbekannt. Diese Zufallsgröße beeinflusst das Ergebnis. Zum anderen unterliegt die Messungen unbekanntem Messstörungen.

Die Angabe einer Detektionsleistung durch eine Fehlalarmrate oder eine Übersehensrate für eine Detektionsmethode kann somit nicht allgemein gültig sein. Nur Standardbedingungen ermöglichen eine reproduzierbare Einschätzung der Detektionsleistung. Die Überprüfung der Übereinstimmung der Bedingungen vor Ort mit den Standardbedingungen ist im Rahmen eines Ortungseinsatzes und mit dem aktuellen Stand der Technik nicht möglich.

### 3.2.2 Positionsgenauigkeit

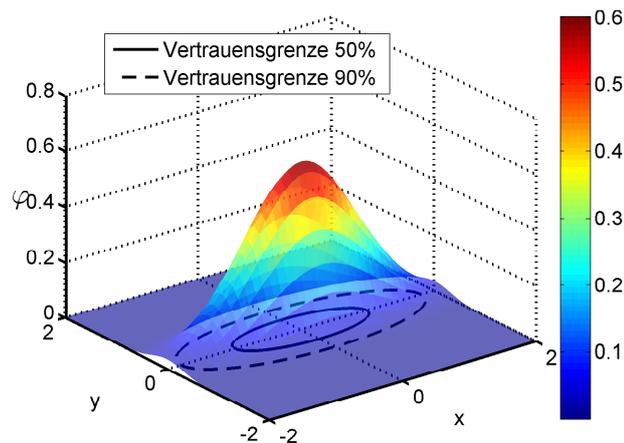
Ein Richtwert über die Positionsgenauigkeit einer Ortungsmethode würde die Einsatzkräfte bei der Entscheidung unterstützen, in welchem Bereich mit einem Verschütteten zu rechnen ist und wo somit Bergungsmaßnahmen eingeleitet werden sollten. Das dreidimensionale Entscheidungsproblem wird oftmals auf ein zweidimensionales reduziert, da davon ausgegangen wird, dass sich in Trümmerlagen die Position des Opfers senkrecht zum Erdboden unterhalb des Ausschlagortes (meistens  $x_M$ ) befindet. Natürlich gibt es auch andere Lagen, bei denen diese Vereinfachung keinen Sinn macht, etwa wenn sich der Suchende der Position des Verschütteten seitlich nähert.

Eine aus der Robotik stammende Möglichkeit ist, die Positionsgenauigkeit mit Hilfe einer Vertrauensgrenze zu beschreiben, welche Wahrscheinlichkeitsangaben hinsichtlich der Positionsgenauigkeit enthält ([176]; [182], S. 154).

Die Ungenauigkeit einer Positionsangabe kann mit einer multivariaten Gaußschen Verteilung beschrieben werden, die mit einer Kovarianzmatrix  $\Sigma$  um eine gemittelte Position ausgedrückt wird. Für eine Definition der Kovarianzmatrix sei beispielsweise auf das Werk von *Smith* und *Chesseman* verwiesen [176]. Es wird vorgeschlagen, die Positionsgenauigkeit mit der Ausdehnung einer Vertrauensgrenze zu beschreiben. Diese Vertrauensgrenze ermöglicht den Suchbereich einzugrenzen, da mit dieser Grenze eine Aussage zur Wahrscheinlichkeit einhergeht, ob sich die Position eines Verschütteten innerhalb dieser Grenze befindet. Je größer der Bereich innerhalb der Vertrauensgrenzen ist, desto größer ist auch die Wahrscheinlichkeit für einen Verschütteten innerhalb des Bereichs, wie es in Abb. 3.4 dargestellt ist.

### 3.2.3 Detektionsmethoden

Bei Detektionsmethoden handelt es sich meist um mobile Ortungsmethoden (beispielsweise Suchhunde), mit denen an verschiedenen Positionen  $x_M \in \mathbb{R}^3$  am Einsatzort nach



**Abb. 3.4:** Multivariate Gaußsche Verteilung der Wahrscheinlichkeitsdichte  $\varphi$  in Funktion der Position  $(x, y)$  um den Ursprung  $\mu = (0, 0)$  mit Kovarianzmatrix  $\Sigma = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 3 \end{pmatrix}$  und zwei Vertrauensgrenzen. Die durchgezogene Linie stellt die Vertrauensgrenze dar, mit der sich mit einer 50% Wahrscheinlichkeit der Schätzwert innerhalb dieser Grenze befindet. Die gestrichelte Linie ist die Vertrauensgrenze mit einer 90% Wahrscheinlichkeit. Der Bereich innerhalb dieser Vertrauensgrenze ist größer und somit auch die Wahrscheinlichkeit. Die  $x, y$ -Achsen sind normiert.

Verschütteten gesucht werden kann. Der Befund einer Detektionsmethode kann die Präsenz eines Verschütteten nicht bestätigen, da dieser mit einer Wahrscheinlichkeit behaftet ist. Außerdem kann die Position nicht genau bestimmt werden.

Detektionsmethoden lassen sich in Bezug auf die Metrologie auch binären Ausschlag-Messmethoden zuordnen. Falls die vom Opfer ausgehende Signalstärke an der Position des Messgeräts die Ansprechschwelle<sup>5</sup> übersteigt, kommt es zum Ausschlag. Den Ausschlag beeinflusst die Distanz zwischen Detektionsmethode und Signalquelle, das Rauschen und die Einflussgrößen der Umgebung, die zu einer Dämpfung oder Störung der Signalausbreitung führen.

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass der Ortungsbefund einer Detektionsmethode von den zwei folgenden Zufallsgrößen abhängt: 1. Die Position, an der eine Messung durchgeführt wird; 2. Das Ergebnis der Messung.

Die örtliche Verteilung der Suchbemühungen hängt davon ab, ob es ein Verdachtsmoment gibt oder nicht. Falls ja, so kann eine Normalverteilung um die vermutete Verschüttetenposition angenommen werden. Falls nein, so verteilen sich die Messpositionen uniform im Raum. Diese Aussage stützt sich auf die Realität eines Suchprozesses während eines Einsatzes. Eine Durchführung von Ortungsmaßnahmen an allen Positionen am Unglücksort ist aufgrund von Ressourcen- und Zeitbeschränkung oftmals in der Anfangsphase eines Rettungseinsatzes nicht möglich [57]. Dies gilt vor allem wenn ein großes Gebiet betroffen ist. Außerdem geht die gewünschte Maximierung des Rettungserfolgs mit der Priorisierung der Suche einher. Somit konzentrieren sich Ortungsmaßnahmen vorerst auf Gebiete, in denen Betroffene eine Verschüttung überlebt haben

<sup>5</sup>Diese ist in DIN 1319 definiert als „kleinste Änderung des Wertes der Eingangsgröße, die zu einer erkennbaren Änderung des Wertes der Ausgangsgröße eines Messgerätes führt“ ([187], S. 24).

könnten oder wo positive Befunde erbracht wurden. An diesen Orten wird meist ein iterativer Prozess durchgeführt, der das Ziel hat, die Position des Verschütteten möglichst genau zu bestimmen.

Was die Zufallsgröße Messergebnis angeht, so kann folgende Aussage getroffen werden: Je weiter die Messposition von der Signalquelle entfernt ist, desto unwahrscheinlicher wird ein Detektion eines Verschütteten. Die Stärke des empfangenen Signals sinkt nämlich mit steigendem Abstand. Im Umkehrschluss steigt die Wahrscheinlichkeit eines negativen Messergebnisses, je weiter die Messposition vom Verschütteten entfernt ist.

Es kann auch zu Detektionen an Positionen kommen, wo sich kein Verschütteter befindet. Diese Fehlalarme können durch Störeinflüsse wie etwa ein unerwartet starkes weißes Messrauschen bedingt sein. Die beste machbare Annahme für die Verteilung von Fehlalarmen ohne jegliche weitere Information ist uniform. Bei den Detektionsmethoden handelt es sich meistens um Angaben einer Position auf der Oberfläche des Schutthaufens.

Der mögliche Abstand zwischen dem Mittelwert vieler Positionen, bei denen es zu einem Ausschlag kam und der tatsächlichen Verschüttetenposition kann dem systematischen Fehler zugerechnet werden. Mit Detektionsmethoden wird jedoch nicht die Position des Verschütteten selbst bestimmt, sondern die senkrechte Projektion seiner Position auf die Oberfläche. Aus diesem Grund sollte die dreidimensionale Gegebenheit zusätzlich berücksichtigt werden.

Ein Ausschlag mit einer Detektionsmethode enthält neben der binären Aussage kein Messergebnis  $z_M$  der Position des Verschütteten (s. Abb. 3.3). Aus diesem Grund wird als Referenzpunkt für die Position des Opfers die Position der Ortungsmethode selbst herangezogen.

Um diese Ungenauigkeit bei der Angabe der Verschüttetenposition einzugrenzen und somit eine bessere Auswertung zu erlauben, wird eine Schätzung des Messbereichs oder Erfassungsbereichs um die Position der Messgeräts vorgenommen, in dem sich der Verschüttete (das heißt die Signalquelle) aufhalten könnte.

Der Erfassungsbereich wird definiert durch die Grenze, bei der das Signal zu Rausch Verhältnis der Ansprechschwelle entspricht. Das empfangene Signal wird dabei von der Distanz und der Umgebung zwischen Signalquelle und Position des Messgeräts und dem verwendeten Messprinzip beeinflusst. An dieser Stelle müssen zwei Verfahren unterschieden werden:

Beim ersten Verfahren handelt es sich um einen aktiven Sensor, der Energie in die Umgebung abstrahlt und eine durch die Signalquelle hervorgerufene Modifikation in der Signalantwort detektiert. Die Ortung eines Verschütteten durch Detektion von Dopplerverschobenen Signalanteilen einer am Opfer reflektierten elektromagnetischen Welle wäre ein Beispiel für solch ein Verfahren. Vorteilhaft ist bei diesen Verfahren, dass der Messbereich variabel ist und sowohl über die ausgestrahlte Signalleistung wie auch die Ansprechschwelle im Rahmen des physikalisch Möglichen modifiziert werden kann.

Beim zweiten Verfahren handelt es sich um eine passive Detektion, bei der vom Verschütteten ausgestrahlte Signale detektiert werden. Der Hund beispielhaft detektiert Duftstoffe, die vom Verschütteten ausgehen. Im Gegensatz zur Hundeortung, die keine variable Ansprechschwelle hat, kann bei akustischen Ortungsverfahren über Verstärkung des Signals und variabler Ansprechschwelle der Erfassungsbereich modifiziert

werden.

Werden bei beiden Verfahren richtungsabhängige Ortungsmethoden eingesetzt, muss für die Eingrenzung des Erfassungsbereichs die Orientierung der Messmethode mitberücksichtigt werden.

In der Praxis ist es problematisch, da eine Erfassung der Umgebung und ihrer Einflussgrößen nur schwer möglich ist. Selbst wenn also Erfahrungswerte für den Messbereich vorab im Labor ermittelt werden, so können diese am Einsatzort nur approximativ gelten. Daraus resultiert eine zusätzliche Unsicherheit.

Die Genauigkeit, mit der die Normalverteilung von positiven Messergebnissen geschätzt wird, hängt von der Anzahl der Stichproben ab. Da diese im realen Einsatz (üblicherweise 2–3 Messungen) gering ist, sollte die Student-Verteilung für eine kleine Stichprobenanzahl herangezogen werden. Bei dieser kleinen Anzahl ist die zusätzliche Eingrenzung des Messbereichs über die Berücksichtigung negativer Messergebnisse vorteilhaft.

In der Praxis ist es wünschenswert, dass ein Messgerät eine hohe Sensitivität aufzeigt. Grund dafür ist nicht nur die höhere Wahrscheinlichkeit, einen Verschütteten zu finden, sondern auch der größere Messbereich. Das heißt, dass die Ansprechschwelle möglichst gering gewählt werden muss. Eine Herabsetzung dieser Schwelle führt jedoch zu einer höheren Fehlalarmrate. Wünschenswert ist ein Messgerät mit einer frei parametrierbaren Ansprechschwelle, damit der Messbereich nach und nach eingegrenzt werden kann.

### 3.2.4 Lokalisierungsmethoden

Lokalisierungsmethoden sind in Bezug auf die Metrologie indirekte Messmethoden, da ihr Messergebnis  $z_M$  eine Aussage über die Position eines Verschütteten ermöglicht, ohne mit ihm direkt in Berührung zu kommen. Ein Beispiel dafür ist die Handyortung. Liegt ein Messergebnis vor, so impliziert dies, dass ein Indiz für einen Verschütteten existiert. Im Umkehrschluss: Liegt kein Messergebnis vor, so kann auch von keinem Indiz gesprochen werden. Da es sich jedoch um eine indirekte Messung handelt und somit das Messobjekt nicht direkt vorliegt, ist die mutmaßliche Existenz eines Verschütteten durch einen Ortungsbefund mit einer Lokalisierungsmethode nicht zwingend bestätigt.

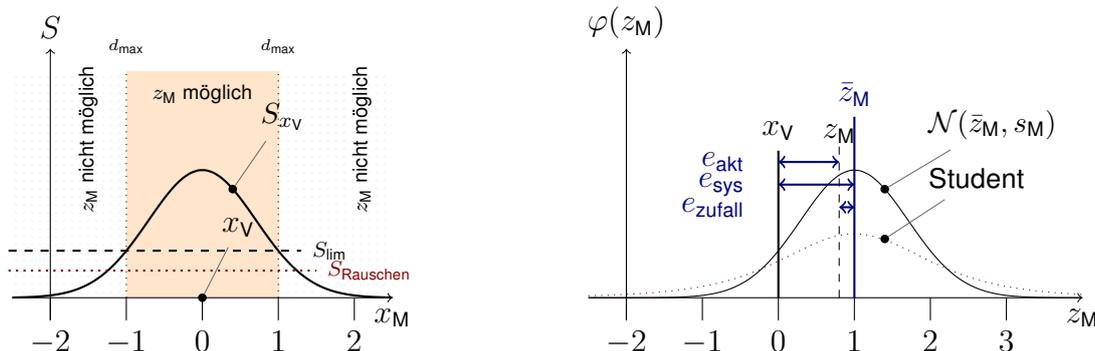
Da das Messergebnis  $z_M$  einer Lokalisierungsmethode Störungen unterliegt, wird die Unsicherheit einer Messung als normal verteilt angenommen (s. Abb. 3.5(b)) [46]. Die Aussage einer Messung macht nur Sinn, wenn sie von einer Abschätzung des Messfehlers begleitet wird. Es wird zwischen systematischen ( $e_{\text{sys}}$ ) und zufälligen Messfehlern ( $e_{\text{zufall}}$ ) unterschieden. Während zufällige Messfehler immer unbekannt bleiben, so wird bei den systematischen Fehlern zwischen bekanntem und unbekanntem Anteil unterschieden. In der Praxis können Fehler erst ermittelt werden, wenn die Verschüttetenposition bekannt ist. Geht der Ursprung des systematischen Fehlers vom Messgerät selbst aus, kann dieser vorab durch Kalibration kompensiert werden. Resultiert er jedoch aus den unbekanntem Einflussgrößen der Umgebung, so kann keine Korrektur erfolgen. Eine Mittlung über alle Messungen minimiert den Einfluss zufälliger Fehler.

Die Aussagekraft des Befundes mit einer Lokalisierungsmethode wird mit der Angabe des zu erwartenden Messfehlers  $e$  präzisiert. Er sollte in einem Befund enthalten sein, da er eine Abschätzung des Suchbereichs ermöglicht. In der Praxis ist die Bestim-

mung des Messfehlers jedoch schwierig, bevor ein Verschütteter gefunden worden ist. Es muss auf eine Schätzung zurückgegriffen werden.

Die Approximation einer Gaußverteilung mit einer Student-Verteilung (s. Abb. 3.5(b)) ermöglicht es, den Vertrauenswert in der Schätzung  $\bar{z}_M$  des Mittelwertes  $\mu$  für kleine Stichproben zu ermitteln. Sie konvergiert für eine große Stichprobenzahl gegen die Gaußverteilung ([40], S. 799).

Die Abb. 3.5(a) ist absichtlich ohne Einheit, da sich die Messung der Position auf unterschiedliche Wirkprinzipien stützen kann. Es sei darauf hingewiesen, dass sich das Rauschen mit Methoden der Signalverarbeitung senken lässt.



(a) Empfangbare Signalstärke des Verschütteten  $S_{x_V}$  ist eine Funktion des Abstands zwischen seiner Position  $x_V$  und der des Messgeräts  $x_M$ . Nur wenn das Signal stärker ist, als die Ansprechschwelle  $S_{lim}$  und das Rauschen  $S_{Rauschen}$  sind Messungen  $z_M$  theoretisch möglich. Die Grenzen des Erfassungsbereichs  $d_{max}$  bestimmen, bis welcher Distanz eine Messung möglich ist.

(b) Verteilung der indirekten Messungen  $z_{M_i}$  der Position der Signalquelle  $x_V$  bei einer bestimmten Position  $x_M$  des Messgeräts innerhalb des Erfassungsbereichs (s. Abb. 3.5(a)), die sich mit einer normalen zufälligen Messunsicherheit und einer systematischen Messabweichung beschreiben lässt.

**Abb. 3.5:** Die Messunsicherheit von Werten  $z_{M_i}$  von Befunden an einer Position  $x_M$  einer Lokalisierungsmethode lässt sich mit einer Normalverteilung beschreiben. Die Darstellung ist räumlich auf eine Dimension vereinfacht. Die Achsen sind normiert.

Bei Lokalisierungsmethoden muss die Beschreibung des Erfassungsbereichs und des Messfehlers getrennt betrachtet werden. Der Erfassungsbereich entspricht dem maximalen Messbereich einer Ortungsmethode. Eine Messung ohne Ergebnis kann als Indiz auf die Abwesenheit eines Verschütteten interpretiert werden.

Andere Störquellen bleiben in dieser Betrachtung unbeachtet. Es sei darauf hingewiesen, dass sich Fehlmessungen uniform im Raum verteilen.

Das Messergebnis  $z_M$  enthält entweder eine „unvollständige“ Angabe der Position eines Verschütteten relativ zu der des Messgeräts  $x_M$  oder die „vollständige“ Position des Ziels im Raum  $z_M \in \mathbb{R}^3$ . Bei einer unvollständigen Angabe der Position handelt es sich beispielsweise um die Distanz  $d \in \mathbb{R}$  oder die Richtung im Raum  $\Xi_M \in \mathbb{R}^2$ .

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die gemessene Position  $z_M$  eines Verschütteten anzugeben: beispielsweise über die Distanz und die Richtung oder über die Tiefe und senkrechte Projektion der Verschüttetenposition auf die Oberfläche. Die Positionen

der Ortungsmethode  $x_M$  werden oftmals benötigt, um die ermittelte Position im lokalen Koordinatensystem in ein globales Koordinatensystem zu transformieren.

Auch wenn eine einzelne Messung die Position eines Verschütteten nicht gänzlich ausdrücken kann, so ist es gängige Praxis, seine Position über simultane oder auch konsekutive Messungen an verschiedenen Standorten mit Verfahren wie der Triangulation ausfindig zu machen<sup>6</sup>. Zur Steuerung von simultanen Messungen bedarf es eines Systems, das oftmals die Positionen der Messeinrichtungen selbst verwaltet und somit nur die Position des Verschütteten weitergibt. Die Position der Messungen sind notwendig für die Positionsbestimmung, bergen jedoch keine Information zur Position des Verschütteten in sich. Konsekutive Messungen setzen voraus, dass sich entweder der Verschüttete nicht bewegt oder die Veränderung seiner Position zwischen zwei Messungen zu vernachlässigen oder abschätzbar ist.

### 3.2.5 Verifikationsmethoden

Eine Verifikationsmethode bringt im Unterschied zu Detektions- und Lokalisierungsmethoden Gewissheit über die Existenz eines Verschütteten. Hier gilt es, zwei Typen zu unterscheiden. Der erste Typ eines Existenznachweises ist ohne eine genaue Positionsbestimmung möglich. Dies ist der Fall, wenn ein Verschütteter beispielsweise in der Lage ist, den Einsatzkräften zu antworten, diese jedoch seine genaue Position nach wie vor nicht kennen. Der zweite Typ ermöglicht neben dem Existenznachweis auch eine genaue Positionsbestimmung des Verschütteten. Das ist zwar nicht immer möglich, da viele Endoskope nicht über Lokalisierungseinheiten an ihrer Spitze verfügen; der Weg bis zum Verschütteten kann jedoch relativ zur Umgebung nachvollzogen werden. Optische Methoden sind *direkten* Messmethoden zuzuordnen, da sie einen Verschütteten nur nachweisen können, falls dieser „zugänglich“ ist.

### 3.2.6 Weitere Charakterisierungskriterien

Bei der Durchführung von Ortungsmaßnahmen kommt es darauf an, wie groß der erfasste Messbereich ist, ob er also den ganzen Einsatzbereich einbezieht oder aber lokal beschränkt ist. Die Unterscheidung ist notwendig, um Rückschlüsse ziehen zu können, wo bereits gesucht worden ist. Bei der Anwendung der meisten Messmethoden ist der Messbereich in seiner räumlichen Ausbreitung lokal beschränkt. Die akustische Bodenerkundung ist beispielsweise durch die Ausbreitungsreichweite der akustischen Wellen limitiert. Bei der Handyortung nach dem „Zeitdifferenz der Ankunft“ (TDoA)<sup>7</sup>-Verfahren werden hingegen die aufgespannte Fläche oder das Volumen zwischen mindestens drei Basisstationen erfasst, in dem sich gewöhnlich der ganze Einsatzbereich befindet.

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal liegt darin, ob die Messungen kontinuierlich oder aber zu diskreten Zeitpunkten erfolgen. Die Unterscheidung ist wichtig, da somit bei kontinuierlichen mobilen Messmethoden über die Positionsspur einer Ortungsmethode (beispielsweise des Suchhundes) Rückschlüsse darüber gezogen werden können, wo

<sup>6</sup>Für eine Übersicht über die gängigen Methoden sei auf *Mao et al.* verwiesen [128].

<sup>7</sup>TDoA steht für „Time Difference of Arrival“. Es ist eine Triangulationsmethode, die aus Entfernungsmessungen von Empfängern an mindestens drei verschiedenen Standorten die Position einer Signalquelle berechnet [128].

gesucht wurde. Die Anwendung beispielsweise des Bioradars erfolgt hingegen zu einem diskreten Zeitpunkt an einem bestimmten Ort.

Pro Messung kann normalerweise nur eine Beobachtung über einen Verschütteten verzeichnet werden, da zwischen Verschütteten nicht unterschieden werden kann. So ist der Hund nicht dazu in der Lage mitzuteilen, ob die Detektion einen oder mehrere Verschüttete betrifft. Das Bioradar oder die akustische Ortung verhalten sich ähnlich. Nur bei der Handyortung und den direkten Methoden ist es möglich, pro Messung gleichzeitig mehrere Ziele, das heißt Messobjekte zu erkennen, da sie eine Identifikation ermöglichen.

### 3.2.7 Zusammenfassung

Die differenzierte Betrachtung von Detektions- und Lokalisierungsmethoden mag fragwürdig erscheinen, kann doch eine konsekutive Anwendung von Detektionsmethoden vor allem mit einem immer kleiner einstellbaren Messbereich zu vergleichbaren Ergebnissen wie die Lokalisierungsmethoden führen. Das Wort „konsekutiv“ unterstreicht geradezu den Bedarf an Informationsfusionsmethoden, um aus Klassifikationsergebnissen einer Detektion genaue Positionsschätzungen zu generieren. Die Ergebnisse von Lokalisierungsmethoden können über Fusionsmethoden verbessert werden. Falls es sich um eine vollständige Positionsmessung im Raum handelt reicht ein einzelnes Ergebnis aus, um eine Bergung einzuleiten. Der Unterschied zu den Verifikationsmethoden ist, dass die Ortungsergebnisse ungewiss bleiben, da nur durch eine Verifikation ein Indiz auch gewiss wird.

Ungewisse Indizien für die Präsenz eines Verschütteten gehen mit einer vermuteten Position einher. Im Gegensatz dazu können erfolglose Ortungsmaßnahmen je nach Methode nicht nur mit einer Position angegeben werden, sondern bei einer kontinuierlichen Messung auch mit einer Fläche oder einem Volumen, wie es für die Erkundung in Abb. 3.1 dargestellt ist.

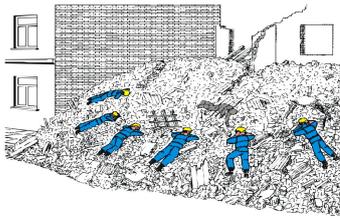
Des Weiteren ist diese Differenzierung in Anbetracht der Erfahrungskonsolidierung sinnvoll, da für Detektionsmethoden nur eine Korrekturklassifikationsleistung und eine Einschätzung des Messbereichs herangezogen werden können. Bei Lokalisierungsmethoden hingegen verhelfen Erfahrungen die zu erwartenden Verteilung der Unsicherheit bei der Messung der Verschüttetenposition abzuschätzen.

Aufgrund der Heterogenität der Informationen und unter Anbetracht der ungenügenden Kommunikation ist es nicht verwunderlich, dass eine Verarbeitung der Befunde die Einsatzkräfte fordert. Die im nächsten Abschnitt 3.3 vorgestellte Schwierigkeit besteht darin, dass sich die Befunde ein und derselben Ortungsmethode je nach Einsatz mehreren Typen von Messmethoden zuordnen lassen.

## 3.3 Verwendete Ortungsmethoden

Bei der Suche nach Verschütteten gehören folgende Ortungsmethoden zum Standard der Fachgruppe „Ortung“ des THW: Ruf-Horch-Klopfmethode, Ortung mit Hunden – biologische Ortung – und der Einsatz von akustischen Ortungsgeräten, wie dem sogenannten Geophon [44, 173]. Das Geophon ermöglicht die Detektion von Geräuschen, deren niedrige Frequenzen außerhalb des Hörbereichs eines Menschen liegen. Die

Ruf-Horch-Klopfmethode ist ebenso eine akustische Ortungsmethode. Die akustischen Methoden setzen voraus, dass der Verschüttete Laute von sich gibt. Diese Standard-Ortungsmethoden sind in Abb. 3.6 dargestellt.



(a) Ruf-Horch-Klopf-Methode (Quelle THW [173]).



(b) Biologische Ortung.



(c) Akustische Ortung.

**Abb. 3.6:** Konventionelle Ortungsmethoden geben Auskunft über die Existenz eines Verschütteten. Sofern kein direkter Zugang zum Verschütteten hergestellt werden kann und mit ihm keine Kommunikation möglich ist, kann nur eine Eingrenzung des Suchbereichs erfolgen, in dem sich der Verschüttete befindet.

Es sei voraus greifend darauf hingewiesen, dass Einsatzkräfte mit der Ruf-Horch-Klopfmethode wenig Erfahrung haben (s. Umfrageergebnisse in Abschnitt 4.1.2 auf S. 49). Der Grund dafür liegt darin, dass von solch einer Maßnahme oftmals auf Grund von Verletzungsgefahr für Einsatzkräfte sowie dem oder den Verschütteten abgesehen wird. Die Trümmerstrukturen können instabil sein, vor allem bei externer Krafteinwirkung. Wenn sich die Einsatzkräfte auf die Trümmer legen, wie es in Abb. 3.6(a) dargestellt ist, besteht die Gefahr, dass sich die Trümmerstrukturen unkontrollierbar verschieben.

Im Rahmen des I-LOV-Projektes wurden folgende neuen technischen Ortungsmethoden entwickelt: Erkennung der Brustkorbbewegung bei der Atmung durch Detektion der Doppler-Verschiebung im reflektierten Anteil einer elektromagnetischen Wellenausbreitung (sogenannte „Bioradar“) [14, 74, 165], Ortungssonde [5, 8] und Ortung mit Hilfe eines Erkundungsroboters [5, 118]. Drei verschiedene Ansätze wurden zur Lokalisierung von Mobilfunktelefonen verfolgt. Noch funktionstüchtige Mobilfunktelefone können über indirekte - und Ausschlag-Messmethoden nachgewiesen werden [199]. Es wurde versucht, auch nicht mehr funktionstüchtige Mobilfunktelefone zu detektieren [84, 85, 153]. Die Machbarkeit konnte an alten Mobilfunktelefonen nachgewiesen werden, doch scheitert diese Methode an der neuen Bauweise von aktuellen Geräten. Für eine detaillierte Übersicht der Forschungsergebnisse des I-LOV-Projektes sei auf den Schlussbericht verwiesen [7].

Außerdem verfügen einige Ortungsgruppen des THW über kommerziell erhältliche Endoskopkameras, beispielsweise das Modell SearchCam 3000 [59]. Sie ermöglichen die Inspektion von Hohlräumen, was mit der Standardausrüstung nicht möglich wäre. Dargestellt sind diese Ortungstechnologien in Abb. 3.7.



(a) Das Bioradar ist eine Alternative zur Hundeortung, da mit ihr bewusstlose Opfer detektiert werden können.



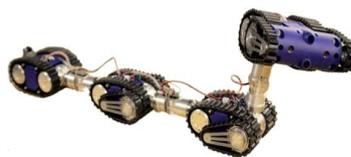
(b) Diese Ortungssonde ist eine Verifikationsmethode, mit der eine Kamera bis zu 10 m weit in den Trümmerkegel geschoben werden kann, sofern eine Zugangsmöglichkeit besteht.



(c) Die Handyortung (hier Ausschlagmessung) gibt Indizien über Positionen von Verschütteten unter der Annahme, dass sie ihr Handy bei sich haben.



(d) Der Kopf der semi-aktiven Ortungssonde.



(e) Der Erkundungsroboter Moebhiu<sup>2</sup>s ist eine Verifikationsmethode, die vor allem in Gefahrenlagen und schwer zugänglichen Bereichen konventionelle Methoden ergänzt.



(f) Das Videoendoskop *SearchCam 3000* ist eine optische und akustische Verifikationsmethode (Bildquelle: CON-SPACE Communications Ltd.) .

**Abb. 3.7:** Neue technische Ortungsgeräte sollen die Suche nach Verschütteten unterstützen.

### 3.3.1 Charakterisierung nach Messmethode

Zusammenfassend zeigt Tabelle 3.2 die verschiedenen Messmethoden und -prinzipien der Ortungsmethoden, die im Einsatz in Frage kommen. Die neuen direkten technischen Ortungsgeräte erweitern die Fähigkeiten der konventionellen Methoden, welche bei der Verifikation von Vermutungen beschränkt sind. Das Bioradar und die Handyortung stellen neben der biologischen Ortung die einzige Möglichkeit dar, bewusstlose verschüttete Personen zu detektieren. Besonders vorteilhaft ist, dass das Bioradar nur atmende, also lebende Verschüttete detektieren kann, eine Information, die bei der Priorisierungsentcheidung von Bergungsmaßnahmen von großer Wichtigkeit ist.

## 3.4 Messmodell eines Radar-Detektionsgeräts

Bei Ortungsmethoden, die nur eine Detektion eines Verschütteten ermöglichen, ist neben der Klassifikationsleistung auch eine Aussage über den erfassten Raum bei der

**Tabelle 3.2:** Charakteristiken von Ortungsmethoden für Verschüttete. Die Anwendungsweise der Ortungsmethode bestimmt das Ergebnis und die somit mögliche Schlussfolgerung.

<b>Ortungs- methode</b>	<b>Mess- ergebnis</b>	<b>Messprinzip</b>	<b>Voraussetzung</b>	<b>Erkennung mehrerer Verschütteter</b>	<b>Anwendungs- weise</b>	<b>Kommentare</b>
Akustische Ortung	binärer Ausschlag, (Gewissheit)	akustisch	hörbare Laute vom Verschütteten	nein, (ja)	Detektion, Verifikation	Eingrenzung der Position durch mehrere Messpositionen, räumlich beschränkt, mobil oder immobil
Suchhund	binärer Ausschlag	olfaktorisch, akustisch	luftdurchlässiger Raum	nein	Detektion	Unterscheidung tot oder lebendig, räumlich beschränkt, kontinuierliche Messung, mobil
Bioradar	binärer Ausschlag <sup>1</sup>	Elektromagn. Dopplereffekt	Verschütteter am Leben	nein	Detektion, (Lokalisierung)	Weiterentwicklung zu Lokalisierungsmethode bevorstehend, räumlich beschränkt, Messung zeitdiskret, immobil
Handy- ortung über Laufzeit	Indiz	Elektromagn. TDoA	Handy an, am Körper	ja	Lokalisierung	Messung der Position eines Mobilfunktelefons nicht eines Verschütteten, immobil
Handy- ortung mit Peilantenne	Indiz	Elektromagn. Signalstärke	Handy an, am Körper	nein	Detektion, (Lokalisierung)	kontinuierlich Messung, mobil, eingeschränkte Eindringtiefe
Erkundungs- roboter	Gewissheit	gewöhnlich optisch	nur wenn Zugang möglich	ja	Lokalisierung, Verifikation	Charakteristik abhängig von integrierten Sensoren [47], räumlich beschränkt, kontinuierlich, mobil.
Endoskop	Gewissheit	optisch	nur wenn Zugang möglich	ja	Verifikation, (Lokalisierung)	Räumlich beschränkt, kontinuierliche Messung, mobil, eingeschränkte Eindringtiefe

<sup>1</sup> Der binäre Ausschlag des Bioradars ist nicht allein durch die Signalstärke bestimmt. Ein sich wiederholender Signalverlauf von 0,1–1 Hz einer Amplitude von 0,3–1 cm ist ebenfalls relevant.

Messung von Wichtigkeit. Dieser ermöglicht es, Rückschlüsse auf den potentiellen Aufenthaltsort eines Verschütteten zu ziehen. Insbesondere bei der Fusion mehrerer Ortungsergebnisse erlaubt die Kenntnis über den erfassten Raum bei einer Messung eine räumliche Karte bezüglich der Aufenthaltswahrscheinlichkeit eines Verschütteten zu aktualisieren.

Eine Schwierigkeit bei der Erzeugung von Messmodellen für die Lokalisierung im Boden in einem Labor ist, dass nicht alle in der Realität vorkommenden Messbedingungen nachgestellt werden können, sondern nur typische. Ein Messmodell wird normalerweise von Einflussparametern in Standardbedingungen ermittelt, die so gewählt und variiert werden, dass sie möglichst den Anwendungsbedingungen des Sensors entsprechen. Somit wird eine allgemeine Gültigkeit des Messmodells sichergestellt. Bei der Lokalisierung im Boden ist jedoch davon auszugehen, dass die Beschaffenheit des Untergrunds unbekannt und nicht ausfindig gemacht werden kann. Bildgebende Verfahren zur Bestimmung der Untergrundbeschaffenheit vor Ort sind aufwändig und ungenau, vor allem wenn es sich um Medien wie einen Schutthaufen handelt. Die Aussagekraft eines Messmodells wird durch dieses Informationsdefizit vermindert.

Die Parameter eines Messmodells können durch statistische Auswertung wiederholter Messvorgänge empirisch erzeugt werden. Der Vorteil einer solchen Herangehensweise ist, dass der Messvorgang als Ganzes analysiert wird. Nachteilig ist jedoch, dass die Einflussparameter schwer zu identifizieren sind.

Das Wissen über das physikalische Messprinzip zur Erzeugung eines Messmodells zu nutzen, das der Messmethode zugrunde liegt, wird als essentiell betrachtet [114] und kompensiert diese Schwierigkeit.

Im Weiteren wird ein physikalisch basiertes Grundkonzept vorgestellt, das den Messraum eines monostatischen Radar-Detektionsgerät beschreibt. Dieses erhebt nicht den Anspruch, die auftretenden physikalischen Phänomene in ihrer vollen Komplexität zu berücksichtigen, da dies nicht Kern der Arbeit ist.

### 3.4.1 Monostatisches Radarsystem

Ein Überwachungsradar stützt sich auf eine Antenne, die normalerweise richtungsabhängige Charakteristika aufweist. Dies ermöglicht durch Schwenkung der Antenne die Richtung des Zielobjekts zu bestimmen, aus der der reflektierte Anteil der ausgesandten elektromagnetischen Signale zu erkennen ist. Die Charakteristika der Antenne werden normalerweise in einem Polarkoordinatensystem der Signalstärke dargestellt, dem sogenannten Strahlungsdiagramm. Bei Überwachungsradars wird das tatsächliche Strahlungsdiagramm mit einem Kugelausschnitt mit Raumwinkel  $\alpha_M$  in Steradian genähert ([127], S. 34). Der Raumwinkel wird durch die 3 dB Grenze der Signalstärke bestimmt. Es wird angenommen, dass dieser Kugelausschnitt das Suchvolumen darstellt und dass außerhalb dieses Volumens eine Detektion nur mit geringer Wahrscheinlichkeit erfolgen kann.

Die Signalstärke einer elektromagnetischen Ausbreitung nimmt mit dem Kehrwert des Quadrats der Entfernung ab. Die Dämpfung des Signals hängt zusätzlich vom Medium ab. Im freien Raum ist das Signal nicht und in der Atmosphäre nur wenig gedämpft, abhängig von Frequenz und Luftfeuchtigkeit. Die Verluste ermöglichen jedoch ausrei-

chende Reichweiten<sup>8</sup>, sodass die Beschreibung des Messbereichs über den Raumwinkel genügt und die Reichweite als unendlich angenommen wird, da die Dämpfung in der Atmosphäre vernachlässigt werden kann.

Bei der Ausbreitung im Boden ist jedoch die zentrale Frage, wie tief ein Signal eindringen kann, damit sein reflektierter Signalanteil noch an der Oberfläche empfangen wird, da es sich um ein verlustbehaftetes Medium handelt. Bei der klassischen Bodenerkundung wird ein elektromagnetischer Impuls ausgesandt und über die dielektrischen Diskontinuitäten ein Abbild des Untergrunds erstellt (s. [66]). Das hier beschriebene Radarsystem strahlt jedoch kontinuierlich elektromagnetische Wellen einer bestimmten Frequenz  $f$  aus, in deren reflektiertem Signalanteil sich regelmäßig wiederholende Bewegungen aufgrund der Atmung eines Verschütteten detektieren lassen. Da die Dämpfung im verlustbehafteten Medium weder die Abhängigkeit zur Frequenz der Welle noch die Sensitivität des Radarsystems oder den Radarquerschnitt  $\sigma_r$  berücksichtigt, die Verarbeitung ein räumliches Modell des Radarkegels jedoch erfordert und in der Literatur keines gefunden wurde, wird dieses Modell im Folgenden erarbeitet. Es sei darauf hingewiesen, dass dieses Modell nur die Voraussetzung berücksichtigt, dass die empfangene Signalleistung über der Ansprechschwelle liegt. Andere Aspekte wie die Kontinuität der empfangenen Signalcharakteristik und die Abhängigkeit der Einstrahlrichtung von der sich bewegenden Grenzfläche bleiben unberücksichtigt, da sie nicht Thema dieser Arbeit sind.

Aus der maximalen Tiefe einer noch detektierbaren Verschüttetenposition und des 3 dB Öffnungswinkels der Antenne relativ zur Richtantennenorientierung und -position ergibt sich die Position des Volumens im Raum, das durch eine Durchdringung von elektromagnetischen Wellen als abgesucht betrachtet werden kann. Das Volumen hängt von zahlreichen Parametern ab, die im Folgenden für die elektromagnetische Welle eines sogenannten „monostatischen Radars“<sup>9</sup>, die von einer Richtantenne ausgestrahlt wird, vorgestellt werden sollen.

Zwei Effekte sind bei der Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen im Boden über die Distanz  $d$  zu beobachten: Der erste wird durch die Friis'sche Transmissionsgleichung beschrieben [174]:

$$\mathcal{P}_r = \mathcal{P}_t \frac{G_r G_t \lambda^2}{(4\pi d)^2}, \quad (3.1)$$

wobei  $\mathcal{P}$  für die Leistung,  $G$  für den Antennengewinn steht, die Indexe „t“, „r“ jeweils die Sende- und die Empfangsantenne beschreiben und  $\lambda$  die Wellenlänge ist. Beim monostatischen Radar entspricht der Antennengewinn der Sendeantenne dem der Empfangsantenne, weshalb sie in Gl. 3.3 nicht mehr differenziert werden.

Der zweite Effekt beschreibt die Dämpfung (Absorptionskoeffizient  $\epsilon_D$ ) durch das Lambert-Beersche Gesetz:

$$\mathcal{P}_r = \mathcal{P}_t e^{-\epsilon_D d} \quad (3.2)$$

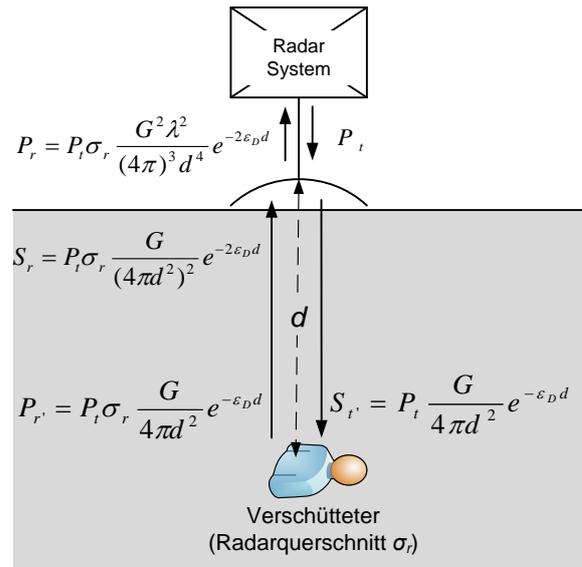
Die Herleitung der modifizierten Radargleichung 3.3 unter Berücksichtigung der Dämpf-

<sup>8</sup>s. hierzu atmosphärische Verluste in [127] auf S. 358 f.;

<sup>9</sup>Bei einem monostatischen Radar ist die Sendeantenne zugleich Empfangsantenne. Somit sind der Ausbreitungsweg und die Antennenwirkfläche für Senden und Empfangen identisch.

fung im Boden und des Radarquerschnitts  $\sigma_r$  wird in Abb. 3.8 veranschaulicht, jedoch nicht ausführlich vorgestellt. Sie kann in verschiedenen Quellen wie beispielsweise [174] nachgeschlagen werden.

$$\mathcal{P}_r = \mathcal{P}_t \sigma_r \frac{G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 d^4} e^{-2\epsilon_D d} \quad (3.3)$$



**Abb. 3.8:** Zusammenfassung der wesentlichen Schritte für die Herleitungen von elektromagnetischer Detektion von Verschütteten mittels monostatischem Radarsystem.

Unter Kenntnis der minimal detektierbaren Leistung oder Empfindlichkeit des Radarsystems kann die maximale Tiefe des erfassten Suchvolumens berechnet werden. Das Signal zu Rausch Verhältnis (SNR) berücksichtigt verschiedene Rauschquellen wie thermisches Rauschen, Funkelrauschen und Phasenrauschen. Für eine detailliertere Übersicht der zu berücksichtigenden Rauschquellen sei auf *Jang et al.* verwiesen [105].

Da diese Betrachtung nicht im Fokus dieser Arbeit liegt, soll auf die gemessene Empfindlichkeit oder Ansprechschwelle des Radarsystems zurückgegriffen werden. Sie liegt bei -120 dBm (s. [14]).

Für eine erfolgreiche Detektion sollte die SNR-Bedingung erfüllt sein, wie es in der Gl. 3.4 ausgedrückt wird. Sie besagt, dass für eine Detektion das Verhältnis von empfangener Signalleistung  $\mathcal{P}_r$  über die Rauschleistung größer als die Ansprechschwelle  $S_{lim}$  sein muss.

$$\text{SNR}_{\text{db}} = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{\mathcal{P}_r}{\mathcal{P}_{\text{Rauschen}}} \right) > S_{\text{lim}} \quad (3.4)$$

Diese Bedingung ermöglicht die Bestimmung der maximalen Tiefe  $d_{\text{max}}$ . Die Berechnung von  $d_{\text{max}}$  wird erschwert, da die sie bestimmenden Parameter nicht allgemein gültig sind. Der Radarquerschnitt  $\sigma_r$  eines Verschütteten hängt von seiner Orientierung relativ zur Wellenausbreitungsrichtung ab [147]. Die Orientierung ist in der Verschüttetensitua-

tion jedoch nicht ermittelbar. Universell gültige Modelle zur Beschreibung des Absorptionskoeffizienten gibt es nicht, da der „Boden“ nicht einfach zu beschreiben ist [66]. Erschwerend kommt hinzu, dass nach einem Gebäudeeinsturz der Trümmerhaufen nicht eine kompakte, sondern dreidimensionale Struktur aus heterogenen Materialien aufweist, die während eines Ortungseinsatzes nicht vollständig ermittelt werden können. Es ist jedoch davon auszugehen, dass ein Schutthaufen Hohlräume aufweist und somit eine elektromagnetische Mehrwegausbreitung zulässt. Im Gegensatz zu dielektrischen Verlusteffekten im homogenen Medium, die abhängig von Frequenz, Material und Weg sind (s. [66]), scheint bei einem Medium mit Hohlräumen nicht zwingend ein linearer Zusammenhang zwischen der Laufzeit über verschiedene Wege und der Dämpfung feststellbar zu sein ([50], S. 93 ff.).

In dieser Arbeit wird anhand der Messungen von *Chen* (s. [50], S. 95 f.) die Dämpfung pro Laufstrecke in einem „chaotischen“ Schutthaufen dennoch unter Annahme eines linearen Zusammenhangs zwischen der Dämpfung und der Ankunftsverzögerung von Mehrwegkomponenten  $\tau_{fa\_delay}$  berechnet. Bei horizontaler Polarisierung der Antennen beträgt die Dämpfung bei 900 MHz -6,8 dB/m mit einem Offset von -15,5 dB (RMSE=11,6 dB) bis zu -12,4 dB/m bei 1800 MHz mit einem Offset von -12,1 dB (RMSE=8,7 dB). Die Werte der gemittelten, quadratischen Fehler (RMSE) unterstreichen die gewagte Hypothese eines linearen Zusammenhangs. Ein Vergleich mit der Dämpfung im Schutthaufen von  $[-25, -5]$  dB/m unter Annahme eines „kompakten“ Mediums aus Beton bei einer Mittenfrequenz von 1 GHz ([65] in [89] auf S. 10) entspricht jedoch den aus *Chens* Messungen ermittelten Werten. Tabelle 3.3 fasst alle Werte zusammen, die zur Berechnung der maximalen Tiefe nötig sind.

**Tabelle 3.3:** Parameter des monostatischen, am IMTEK gebauten Radarsystems.

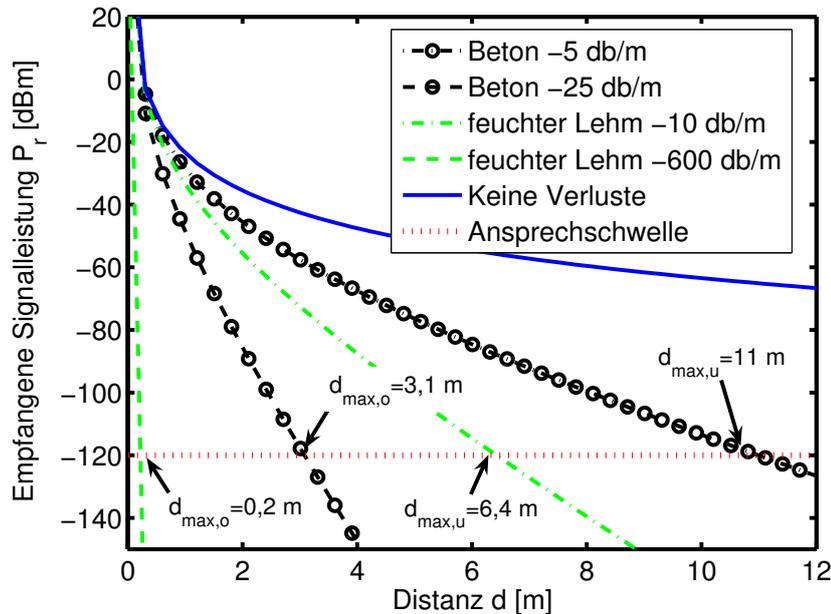
<b>System</b>		
<b>Parameter</b>	<b>Wert</b>	<b>Quelle</b>
Sendeleistung $\mathcal{P}_t$	20 dBm	[14]
Wellenlänge $\lambda$	0,3 m	[14]
minimal detektierbare Leistung $\mathcal{P}_{min}$ oder Empfindlichkeit	-120 dBm	[14]
Antennengewinn $G$	10 dBi	Patchantenne
Öffnungswinkel $\alpha_M$	55°	[165]
<b>Umgebung</b>		
Radarquerschnitt eines Menschen $\sigma_r$	1 m <sup>2</sup> *	[174], S. 11.20
Absorptionskoeffizient $\epsilon_D$	$[-25, -5]$ dB/m	[89]

\* Dieser Wert gilt für einen ganzen Menschen und nicht für einen Brustkorb.

Dies ergibt einen Reichweitenbereich von mindestens 3,1 m (mit Absorption  $\epsilon_D = -25$  dB/m) bis maximal 11 m ( $\epsilon_D = -5$  dB/m), wie aus Abb. 3.9 hervorgeht. Diese Ergebnisse sind mit Vorsicht zu interpretieren, da der Radarquerschnitt einer Brustkorbbeugung kleiner ist. In einer Studie hat *Nezirovic* et al. gezeigt, dass mit einer Dämpfung des Signals im Mittel auf Grund der Rückstreuung auf dem Brustkorb von mindestens -52 dB zu rechnen ist [148]<sup>10</sup>. Dieser Wert wurde in einem bistatischen Messaufbau

<sup>10</sup>Diese Dämpfung unter Annahme der Werte in Tabelle 3.3 und einer Entfernung von 2,5 m entspricht

mit einem Ultra-Wide-Band Impulsradar ermittelt (Mittenfrequenz 750 MHz und -10 dB Bandbreite von 880 MHz), dessen Antennen 2,5 m entfernt von einer atmenden Testperson platziert wurden. Er hängt stark vom Winkel zwischen den Achsen der Sende- und Empfangsantenne und der Orientierung der Atembewegung ab. Die Polarisierung der Sende- und Empfangsantenne ist ebenfalls ein wichtiger Parameter.



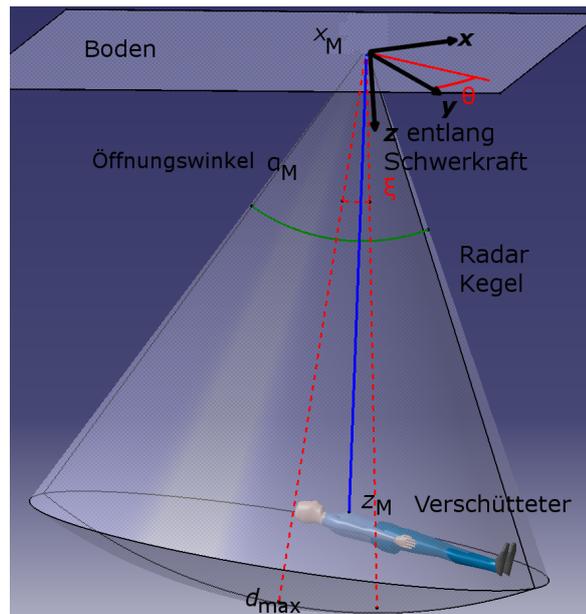
**Abb. 3.9:** Obere und untere Schwelle der maximalen Reichweite für kompakten Beton und feuchten Lehm. Die Detektion eines Verschütteten ist nur möglich, wenn die empfangene Leistung höher ist als die Anschwelle des Geräts.

Die Modellierung eines approximativen physikalischen Erfassungsvolumen bei einer positiven Messung mit dem Radar-Detektionssystem orientiert sich an der Beschreibung der Leistung relativ zur Position der Antenne. Als räumliches Modell wird ein kegelförmiger Kugelausschnitt angenommen, der durch folgende Parameter beschrieben wird: Öffnungswinkel  $\alpha_M$  (alternativ Steradian); Position der Spitze des Kegels oder Position der Antenne  $x_M$ ; und Orientierung  $\Psi_M = (\theta, \xi)$  der Antenne relativ zum an der Schwerkraft ausgerichteten Koordinatensystem. Hierbei wird angenommen, dass die Kegelhöhe der maximalen Detektionstiefe  $d_{max}$  entspricht, wie es Abb. 3.10 zeigt. Je nach Material muss hier ein anderer Wert eingesetzt werden.

### 3.5 Zusammenfassung

Dieses Kapitel hat gezeigt, welche Herausforderungen die Einsatzkräfte bei einem Ortungseinsatz bewältigen müssen. Nicht nur stehen sie am Anfang eines Ortungseinsatzes vor einem großen Informationsdefizit, sondern werden ebenso durch die Einschätzung der erfassten Informationen während ihres Einsatzes auf die Probe gestellt. Zusätzlich ist die Heterogenität der Informationsquellen beachtlich: Augenzeugenberichte

einer Fläche von  $0,054 \text{ m}^2$ , was etwas kleiner als eine DIN A4 Seite ist.



**Abb. 3.10:** Der Erfassungsbereich des Radarsystems, in dem sich ein Verschütteter aufhält wird von maximaler Reichweite  $d_{max}$  und Öffnungswinkel  $\alpha_M$  bestimmt.

und Informationen aus Ortungsmaßnahmen sollten miteinander in Verbindung gebracht werden.

Die Schwierigkeit bei einem Ortungseinsatz ist, dass nur im Nachhinein, wenn der Verschüttete erfolgreich gerettet wurde, eine Aussage über die Qualität der Ortungsergebnisse und deren Verarbeitung gemacht werden kann. Die Verifizierung des Messmodells an einem realistischen Szenario ist schwierig, da sich die Messbedingungen meistens nach der Rettung verändert haben. Verändert werden sie, wenn ein Zugang zum Verschütteten für seine Bergung geschaffen wird. Unter Laborbedingungen gibt es Messverfahren, welche das Ausmessen des Messbereichs in einem kompakten Medium oder einem Schutthaufen ermöglichen. Das Medium ist jedoch weitestgehend bekannt, was in der Realität nicht der Fall ist. Aus diesem Grund müssen die Bedingungen im Labor so gewählt werden, dass sie repräsentativ für reale Einsätze sind, um eine Abschätzung des Erfassungsbereichs gewährleisten zu können. Dies unterstreicht die Wichtigkeit einer akribischen Protokollierung während und den Bedarf an Erfahrungskonsolidierung nach einem Ortungseinsatz, um die Parameter der zu erwartenden Muster von Ortungsbefunden und räumlichen probabilistischen Messmodellen zu erlernen. Dieses Kapitel hat aufgezeigt, welche Informationen hierzu von Bedeutung sind.

# 4 Unterstützung eines Ortungseinsatzes durch ein IT-System

Dieses Kapitel präsentiert auf der Basis einer Bedarfsanalyse, welche Funktionalitäten ein IT-System aufweisen sollte, um einen Ortungseinsatz zu unterstützen.

Die Bedarfsanalyse stützt sich unter anderem auf eine bundesweite Umfrage zum Entscheidungsverhalten bei Ortungseinsätzen in Trümmern, die 2010 im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt wurde. Die Bedarfsanalyse wird in Abschnitt 4.1 vorgestellt.

Diese Bedarfsanalyse hat es ermöglicht, bedarfsgerechte Spezifikationen für ein IT-System zu erarbeiten, die in Abschnitt 4.2 vorgestellt werden.

Diese Spezifikationen wurden in einem Demonstrator-IT-System weitestgehend umgesetzt, um deren Tauglichkeit in Feldversuchen erproben zu können. Dieses IT-System wird in Abschnitt 4.3 vorgestellt. Unter anderem die Ergebnisse seiner Erprobungen werden im nächsten Kapitel 5 vorgestellt. Die Änderungs- und Erweiterungswünsche, die sich aus den Erprobungen des Demonstrators ergaben, sind in den iterativen Entwicklungsprozess eingeflossen und wurden in den Spezifikationen mitberücksichtigt.

## 4.1 Bedarfsanalyse

Zunächst wird die Methode der Umfrage erläutert, bevor auf die Ergebnisse eingegangen wird. Im Anschluss werden diese diskutiert. Die wesentlichen Erkenntnisse werden am Ende des Kapitels zusammengefasst.

### 4.1.1 Methode

Die Umfrage wurde im Zeitraum vom 29. April 2010 bis 15. August 2010 in deutscher Sprache über eine öffentlich zugängliche Internetseite anonym durchgeführt. Der Fragebogen im Anhang A.2 ermöglicht einen Einblick in den Ablauf der Umfrage, spiegelt jedoch die Realität für den Teilnehmer nicht wider. Für manche Fragen wurde die Aussagekraft der Antwort des Teilnehmers vorausgesetzt. Falls diese als unwahrscheinlich eingestuft wurde, wurde dem Teilnehmer die Frage gar nicht gestellt. Die Evaluation der Aussagekraft stützte sich auf Bedingungen, die an die Frage gekoppelt waren. Deren Erfüllung wurde über bereits erfasste Antworten überprüft. Es macht beispielsweise wenig Sinn nach Schwierigkeiten bei der Entscheidungsfindung zu fragen, falls der Teilnehmer keine Entscheidungserfahrung hat. Auf Grund der Bedingungen war die Sequenz der Fragen nicht frei wählbar. Diese Maßnahme hatte zum Ziel, den Aufwand für die Umfrageteilnehmer so gering wie möglich zu halten und somit die Teilnahme zu steigern.

Es nahmen 88 Personen an der Umfrage teil. Dies entspricht circa fünfzehn Prozent der Einsatzkräfte mit Ortungserfahrung in Deutschland<sup>1</sup>. Es gab maximal zwanzig Fragen zu beantworten<sup>2</sup>. Zweiundzwanzig Teilnehmer haben die Befragung nicht vollständig beendet. Es nahmen entweder berufliche oder ehrenamtliche Einsatzkräfte an der

<sup>1</sup>Diese Zahl bezieht sich auf die Gesamtstärke der Ortungsgruppen des THW. Die Gesamtstärke wurde vom THW privat mitgeteilt.

<sup>2</sup>Der Fragebogen im Anhang A.2 umfasst 21 Fragen. Auf Grund sich gegenseitig ausschließender Bedingungen wurde jedoch dem Teilnehmer entweder die Frage 20 oder 21 gestellt, was die maximal erreichbare Anzahl an gestellten Fragen auf 20 reduziert.

Umfrage teil. Die meisten waren Mitglieder des THW, einige wenige von anderen Rettungsorganisationen wie der Feuerwehr, dem Roten Kreuz und der „International Search and Rescue“ Organisation.

Die meisten Teilnehmer sind auf die Umfrage über Internetverweise oder über Aufforderung ihrer Organisation aufmerksam geworden. Zehn (11%) haben auf Grund einer persönlichen Einladung an der Umfrage teilgenommen. Aufrufe zur Teilnahme wurden durch offizielle Briefe des THW und dessen Internetseite veröffentlicht. Auch über die Internetseite des Roten Kreuzes und in spezialisierten Foren<sup>3</sup> waren Teilnahmeaufforderungen zu finden.

### Ziele der Umfrage

Die Übersicht zum Stand der Technik von IT-Systemen zur Unterstützung von Ortungseinsätzen in Kapitel 2 hat gezeigt, dass deren Funktionsumfang insbesondere der Unterstützung taktischer Aufgaben bei Einsätzen gilt. Die derzeit verfügbaren IT-Systeme weisen jedoch wenig konkrete Funktionen zur Unterstützung bei der Suche nach Verschütteten auf.

Das Ziel dieser Umfrage ist es daher, die Aufgaben und Entscheidungen während eines Ortungseinsatzes in Trümmern zu identifizieren, die durch ein IT-System unterstützt werden könnten.

### Struktur der Umfrage

Die Umfrage weist drei Frageblöcke zu folgenden Themen auf: 1. Erfahrung mit Ortungseinsätzen in Trümmern; 2. Entscheidungsfindung bei Ortungseinsätzen; 3. Unterstützungsbedarf bei Ortungseinsätzen. Im Folgenden werden diese drei Frageblöcke vorgestellt.

Einsturzkatastrophen sind in Deutschland Statistiken zufolge relativ selten<sup>4</sup>. Aus diesem Grund wurde angenommen, dass Teilnehmer an der Umfrage wenig Erfahrung mit Ortungseinsätzen in Trümmern haben. Folglich hatten die Fragen des ersten Frageblocks zum Ziel, eine Qualifizierung der Erfahrungen eines Teilnehmers mit Ortungseinsätzen zu ermöglichen, um diese Annahme zu überprüfen.

Der zweite Frageblock zielte darauf, die Erfahrung mit Entscheidungen während eines Ortungseinsatzes zu evaluieren. Schwierigkeiten bei der Entscheidungsfindung sollten identifiziert werden. Die Grundlage der Fragen waren folgende zwei Hypothesen:

1. Einsatzkräfte haben Schwierigkeiten, Suchareale zu priorisieren
2. Einsatzkräfte wählen systematisch die Ortungsmethode in Abhängigkeit zur Umgebung aus

Die Fragen 5 und 6 sollen die Wichtigkeit einer umfassenden Protokollierung klären. Dabei soll vor allem eruiert werden, welche Aktivitäten in ihrem zeitlichen Ablauf sowie

<sup>3</sup>[www.sardog.eu](http://www.sardog.eu) und [www.rettungshundeforum.de](http://www.rettungshundeforum.de).

<sup>4</sup>Die Münchener Rückversicherung gibt an, dass im Zeitraum von 1980 – 2009 kein einziges geophysisches Unglück mit mehr als 20 Verstorbenen in Deutschland stattgefunden hat [17]. In der Statistik der Schweizer Rückversicherung über von Menschen verursachte Einstürze gibt es in Deutschland nur eines 2009 mit dem Kölner Stadtarchiv im Zeitraum von 2002 – 2009 [166]. Bei diesen Zahlen sind jedoch die Bedingungen zu beachten, ab wann ein Ereignis in der Statistik der jeweiligen Rückversicherung berücksichtigt wird.

ihren örtlichen Gegebenheiten festgehalten werden sollen.

Der dritte und letzte Frageblock beabsichtigte, Verbesserungspotentiale ausfindig zu machen. Dabei galt es vor allem, Aufgaben und Entscheidungen zu identifizieren, bei denen Einsatzkräfte einen Bedarf an einer Unterstützung haben. Insbesondere wurde auf die Nutzung, Verarbeitung und Darstellung ungewisser Informationen eingegangen. Heutzutage werden Bergungsmaßnahmen oftmals nur bei Gewissheit eingeleitet. Drei Fragestellungen sollten mit der Umfrage geklärt werden können:

1. Leiten Einsatzkräfte auf der Basis ungewisser, positiver Ortungsbefunde und somit mit dem Risiko eines Misserfolges Bergungsmaßnahmen ein?
2. Wie würde eine Priorisierung basierend auf Ergebnissen der Ortungsmaßnahmen und deren Verarbeitung aussehen?
3. Benötigen Einsatzkräfte eine Unterstützung, um die 5-Phasentaktik<sup>5</sup> des THW einzuhalten?

### Fragetypen

Wie aus dem Fragebogen im Anhang A.2 hervorgeht, wurden hauptsächlich geschlossene Fragen gestellt, um jeglicher Subjektivität bei der Auswertung vorzubeugen. Teilnehmer mussten entweder Aussagen über fünf Relevanzniveaus von „trifft nicht zu“ bis „trifft völlig zu“ bewerten oder binäre Antworten geben. Zwei Fragen waren durch Zahlenangabe zu beantworten. Bei einer Frage musste die Reihenfolge in Präferenz von mehreren Antwortoptionen bestimmt werden.

Einige Fragen waren optional. Andere, die beantwortet werden mussten, bestimmten oftmals, ob dem Teilnehmer Fragen zu einem weiteren Thema gestellt wurden.

### Qualifizierung der Erfahrung eines Teilnehmers

Die Erfahrung eines Teilnehmers mit Ortungseinsätzen wurde in drei Kategorien klassifiziert: **Unerfahren**, **Erfahren** und **Experte**. Die Klassifikation stützte sich hierfür auf die Antworten der Fragen 1, 3 und 4 der Umfrage bezüglich der Erfahrung mit Ortungseinsätzen, Ortungsmethoden und Entscheidungen bei Ortungseinsätzen. Diese drei individuellen Erfahrungen wurden herangezogen, um die globale Erfahrung mit Ortungseinsätzen zu bestimmen.

Um die Einsatzerfahrung zu qualifizieren, wurden folgende Regeln bezüglich der Teilnahme an Ortungseinsätzen mit mindestens einem Opfer benützt: Ein unerfahrener Teilnehmer hat an keinem Einsatz teilgenommen. Ein Erfahrener hat sich an bis zu zwei Einsätzen eingebracht. Alle anderen werden als Experten bezüglich der Einsatzerfahrung eingestuft.

Die Qualifizierung der Erfahrung mit Ortungsmethoden stützte sich auf folgende Einstufungen: keine Erfahrung (=1), wenig Erfahrung (=2), Erfahrung (=3), solide Erfahrung (=4) und (sehr) viel Erfahrung (=5). Neben der Erfahrung im Umgang mit einer Ortungsmethode wurde in der Qualifizierung auch die Vielfalt an Methoden berücksichtigt, die die Einsatzkraft beherrscht. Ein Teilnehmer wurde als Experte im Umgang mit Ortungsmethoden angesehen, wenn er (sehr) viel Erfahrung (=5) mit mindestens einer Methode

---

<sup>5</sup>Für mehr Details sei auf das Grundlagenkapitel 3 verwiesen.

hat und Erfahrung oder solide Erfahrung (=3 – 4) mit mindestens zwei anderen Methoden hat. Wenn ein Teilnehmer nicht als Experte eingestuft ist, jedoch sehr viel Erfahrung (=5) mit bis zu zwei Methoden hat oder solide Erfahrung (=4) in mindestens zwei Methoden aufweist, gilt er als erfahren mit Ortungsmethoden. Alle anderen Teilnehmer werden als unerfahren mit Ortungsmethoden eingestuft.

Die Einstufung der Erfahrung eines Teilnehmers mit Entscheidungen erfolgte über deren Vielfalt, die er während eines Ortungseinsatzes bereits zu fällen hatte. Eine Einsatzkraft ohne jegliche Entscheidungserfahrung wurde als unerfahren eingestuft. Falls sie mehr als drei unterschiedliche Entscheidungen getroffen hat, gilt sie als Experte mit Entscheidungen. Alle anderen werden als erfahren eingestuft.

Ein Teilnehmer, der keine Ortungseinsatzenerfahrung aufweist, wurde global als unerfahren qualifiziert. Außerdem, wurde er als global unerfahren eingestuft, wenn er zweimal unerfahren eingestuft wurde und nur einmal als erfahren in seiner Einsatz-, Ortungsmethoden- und Entscheidungserfahrung. Um hingegen als Experte eingestuft zu werden, musste er entweder Experte in allen drei Erfahrungsbereichen sein oder in zwei und in einer als erfahren. Alle anderen wurden als global erfahren eingestuft.

## 4.1.2 Ergebnisse der Umfrage

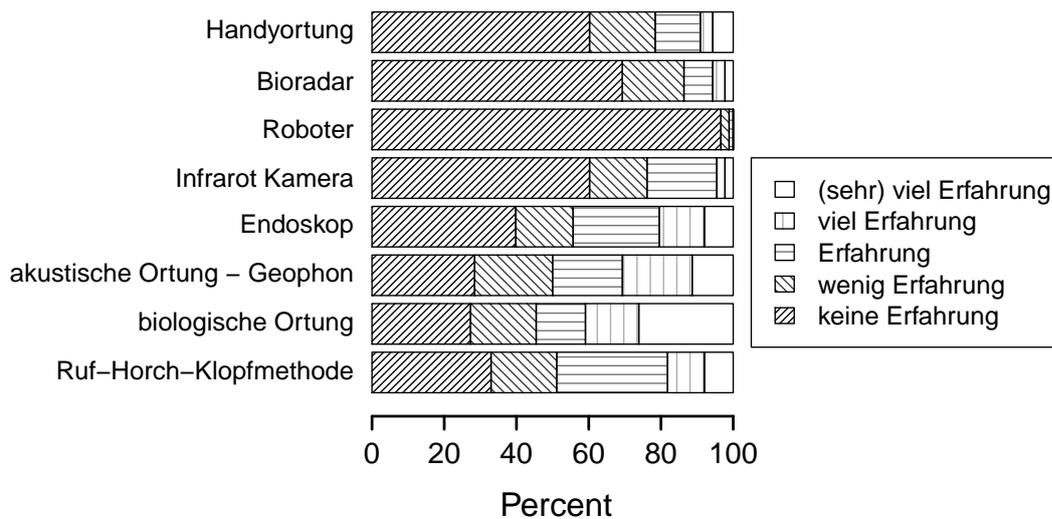
### Erfahrung der Teilnehmer

In Deutschland bestätigt sich durch die Umfrage die Hypothese basierend auf den Statistiken wie beispielsweise der Münchner Rückversicherung [139]. Einsatzkräfte haben nicht viel Erfahrung mit Ortungseinsätzen in Trümmerlagen: mehr als die Hälfte der Teilnehmer an der Umfrage haben an keinem Ortungseinsatz teilgenommen. Nur 48% der Teilnehmer haben an Einsätzen mit mindestens einem Verschütteten teilgenommen und nur 22% waren an Einsätzen mit mehr als fünf Verschütteten beteiligt.

Die Erfahrung der Teilnehmer mit Ortungsmethoden ist in Abb. 4.1 dargestellt. Für eine detaillierte Beschreibung der verwendeten Ortungsmethoden sei auf Abschnitt 3.3 auf S. 36 verwiesen. Die Teilnehmer haben die meiste Erfahrung mit Suchhunden, gefolgt von akustischer Ortung mit Geophonen. Videoendoskope gehören bisher nicht zur Standardausrüstung des THW, sind jedoch weit verbreitet. Dies scheint die dritte Ortungsmethode zu sein, mit der die Teilnehmer Erfahrung haben. Im Vergleich scheinen Einsatzkräfte weniger Erfahrung mit der Ruf-Horch-Klopf-Methode aufzuweisen, die auf keine technische Hilfsmittel angewiesen ist und somit die robusteste Ortungsmethode ist. In Anbetracht der fehlenden Verbreitung moderner Ortungsmethoden ist es nicht erstaunlich, dass die Teilnehmer wenig Erfahrung mit folgenden Ortungsmethoden haben: Handyortung, Infrarot Kameras, Roboter und Bioradar.

Tabelle 4.1 stellt die Ergebnisse zur Erfahrung mit Entscheidungen dar. Die Ergebnisse basieren auf der binären Frage, ob eine Einsatzkraft bereits eine Entscheidung gefällt hat oder nicht. Nur 23% aller Teilnehmer haben im Mittel Erfahrung mit Entscheidungen, wohingegen Experten eine viel höhere Entscheidungserfahrung aufweisen. Dies bekräftigt die Hypothese, dass Einsatzkräfte mit mehr Entscheidungserfahrung diejenigen sind, die als Experten eingestuft sind und somit meistens auch einen höheren Dienstrang inne haben.

Die meisten Teilnehmer an der Umfrage wurden global als unerfahren eingestuft (52,3%). Nur 30,7% der Teilnehmer wurden als global erfahren und nur 17,0% wurden



**Abb. 4.1:** Die Erfahrung der Umfragten Teilnehmer mit Ortungsmethoden.

**Tabelle 4.1:** Erfahrung mit fünf üblichen Entscheidungen bei Ortungseinsätzen.

<b>Entscheidung</b>	<b>Prozent [%]</b>			
	<b>Unerfahren</b>	<b>Erfahren</b>	<b>Experte</b>	<b>Insgesamt</b>
Wo Ortungsmaßnahmen eingeleitet werden?	4,4	18,5	86,7	22,7
Welche Ortungsmethoden eingesetzt werden?	8,7	11,1	93,3	23,8
Ob ein ungewisses Ortungsergebnis auf einen Verschütteten hinweist oder nicht?	4,4	14,8	93,3	22,7
Ob Bergungs- beziehungsweise Rettungsmaßnahmen eingeleitet werden?	4,4	11,1	86,7	20,5
In welcher Reihenfolge die Ortungsmethoden eingesetzt werden?	8,7	18,5	80,0	23,8

als Experten für Ortungseinsätzen in Trümmerlagen eingestuft.

### Informationsdefizit

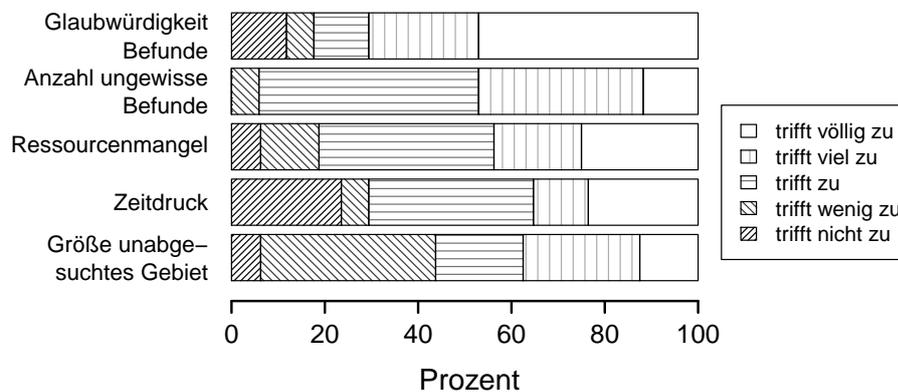
Mit folgender –bewusst optionalen– binären Frage wurde das Thema Informationsdefizit behandelt:

Haben Sie schon einmal positive Ortungsbefunde nicht weitergegeben, da es bloß ungewisse Ortungsbefunde waren?

Die Antwort war zu 93,3% negativ. Nur ein Experte hat angegeben, dass er in der Tat auf Grund der Ungewissheit eines Ergebnisses eine Ortungsmaßnahme während eines Einsatzes nicht weitergegeben hat.

Der richtige Umgang mit ungewissen Informationen ist von Wichtigkeit, um das Vergeuden von Zeit und Ressourcen für Bergungsmaßnahmen an nicht Ziel führenden Orten zu vermeiden. Bergungsmaßnahmen könnten nicht eingeleitet werden, wenn sich

die Entscheidung auf ungewisse Informationen stützt und die Ressourcen knapp sind. Die Teilnehmer der Umfrage hatten folgende Aspekte zu bewerten, die das Einleiten von Bergungsmaßnahmen in Frage stellen würde: Größe des noch nicht abgesuchten Einsatzgebietes, Zeitdruck, Ressourcenmangel, Anzahl der ungewissen Ortungsbefunde und Glaubwürdigkeit der Ortungsbefunde.



**Abb. 4.2:** Bedingungen unter denen ungewisse, positive Ortungsbefunde als nicht ausreichend bewertet werden, um Bergungs- oder Rettungsmaßnahmen einzuleiten.

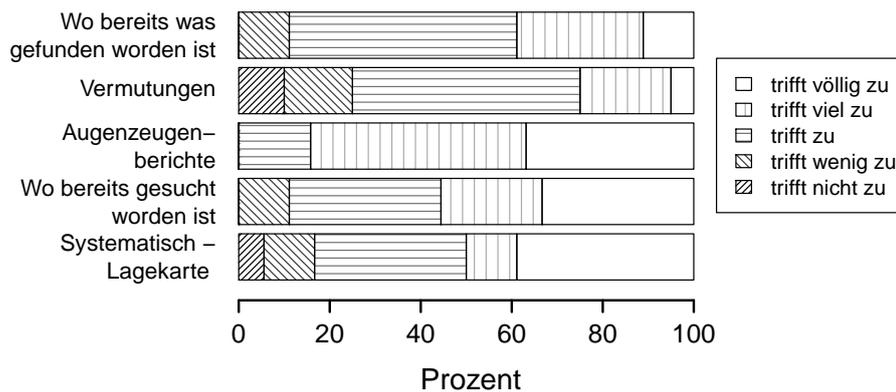
Abbildung 4.2 zeigt, dass 71% der Teilnehmer die Glaubwürdigkeit der Ortungsbefunde zu einer Relevanz von „trifft viel zu“ (=4) bis „trifft völlig zu“ (=5) als nicht ausreichend findet, um Bergungs- oder Rettungsmaßnahmen einzuleiten. Bei der Anzahl von ungewissen Befunden sind 47% der Teilnehmer (zwischen „trifft viel zu“ (=4) bis „trifft völlig zu“ (=5)) ebenfalls der Meinung, dass dieser Aspekt eher zutreffend ist. Ein Ressourcenmangel scheint auch eher dazu zu führen, von Bergungsmaßnahmen abzuweichen, falls nur ungewisse, positive Ortungsbefunde einen Indiz auf einen Verschütteten geben (44% zwischen „trifft viel zu“ (=4) bis „trifft völlig zu“ (=5)). Die Bedingung Zeitdruck und die Größe des nicht abgesuchten Bereichs scheinen divergierende Meinungen hervorzurufen, wie aus der Darstellung der Ergebnisse in Abb. 4.2 ersichtlich wird.

## Strategie

**Suchareale:** Die Teilnehmer hatten die folgenden Aspekte zu bewerten, die die Stellen beeinflussen, wo Ortungsmaßnahmen durchzuführen sind: „Systematisch - Lagekarte“, „Wo bereits gesucht worden ist“, „Augenzeugenberichte“, „Vermutungen“ und „Wo bereits was gefunden worden ist“. Die Antworten sind in Abb. 4.3 dargestellt. Dem Ergebnis der Umfrage zufolge beeinflusst die Systematik bei der Suche die Einsatzkräfte am meisten. Für 39% der Teilnehmer traf dieser Aspekt völlig zu.

Erfahrene Einsatzkräfte und Experten erachten Stellen, wo bereits gesucht worden ist sowie Augenzeugenberichte als relevant für ihre Entscheidung. Der Aspekt, der am wenigstens die Entscheidung beeinflusst, scheint der Umfrage zufolge die Intuition zu sein.

Das eindeutige Ergebnis zur Frage 6 bezüglich der Nachortung, die zu 99% als sinnvoll erachtet wurde, unterstreicht deren Einfluss auf die Entscheidung wo Ortungsmaßnahmen durchzuführen sind. Ein Vergleich dieses Ergebnisses mit dem Ergebnis der



**Abb. 4.3:** Aspekte, die die Entscheidung beeinflussen, an welchen Stellen Ortungsmaßnahmen einzusetzen sind.

Frage 5 zu den Aspekten, die die Stellen beeinflussen, wo Ortungsmaßnahmen durchzuführen sind (s. Abb. 4.3), bestätigt die Wichtigkeit der Nachortung. Dies ist jedoch nicht der einzige Faktor. Eine systematische Herangehensweise und Augenzeugenberichte scheinen den Suchvorgang ebenso mitzubestimmen.

**Die 5-Phasentaktik:** Die meisten Teilnehmer (81%) haben keine Schwierigkeiten die 5-Phasentaktik zu befolgen. Die restlichen, die Schwierigkeiten angaben, hatten folgende Gründe zu bewerten: „Anwendbarkeit hängt vom Ortungseinsatz ab“, „Zeitdruck“, „es gibt effizientere Methoden“, „Einhalten unter Stress schwierig“.

Der Hauptgrund für die Schwierigkeiten bei der Befolgung der 5-Phasentaktik ist die fehlende Anwendbarkeit auf den jeweiligen Ortungseinsatz. Dieses Argument wird hauptsächlich von erfahrenen Einsatzkräften angegeben. Zeitdruck scheint auch ein Grund zu sein, dieser ist jedoch weniger relevant. Effizientere Methoden sind keinem Teilnehmer bekannt. Die Gründe Stress und Zeitdruck wurden als völlig zutreffend nur von zwei Teilnehmern bewertet.

**Suchtaktik:** Nachdem die Frage nach der Stelle bei einem Einsatz beantwortet ist, wo Ortungsmaßnahmen durchgeführt werden sollen, müssen zwei weitere Entscheidungen getroffen werden: 1. Welche Suchmethoden sollen genutzt werden, um aussagekräftige Ortungsergebnisse zu erhalten? 2. In welcher Reihenfolge sollen diese angewandt werden? Beide Entscheidungen beeinflussen die Effizienz des Einsatzes, da sich die Ortungsmethoden in ihrer Leistungsfähigkeit durchaus unterscheiden (s. Kapitel 3).

Die Auswahl und die Reihenfolge der Ortungsmethoden wird hauptsächlich auf der Grundlage ihrer Leistungsfähigkeit bestimmt. Bei beiden Entscheidungen wurde dieser Aspekt von 89% der Teilnehmer mit „trifft sehr zu“ (=4) bis „trifft völlig zu“ (=5) bewertet. Die Auswahl wird zusätzlich durch die Bedingungen am Einsatzort und die Fähigkeit der Anwender beeinflusst (85% respektive 67% „trifft sehr zu“ (=4) bis „trifft völlig zu“ (=5)). Regeln scheinen weder für die Auswahl noch für die Reihenfolge der Ortungsmethoden relevant zu sein, da nur 42% diesen Aspekt mit „trifft sehr zu“ (=4) bis „trifft völlig zu“ (=5) bewertet haben. Bei der Bestimmung der Reihenfolge scheint die Verfügbarkeit ein wichtiger Aspekt zu sein (80% „trifft sehr zu“ (=4) bis „trifft völlig zu“ (=5)). Dies ist nicht verwunderlich, da eine Einsatzkraft nur unter verfügbaren Ortungsmethoden auswählen

kann, auch wenn andere Methoden zur Suche nach Verschütteten effizienter wären. Diese Antwortoption galt vor allem der Abgrenzung zu den beiden anderen Optionen der Frage 8 und zum Widerlegen der Arbeitshypothese, die Auswahl würde vor allem nach Regeln erfolgen.

### Lageübersicht

**Übersicht des Einsatzablaufs:** Die Vielfältigkeit und die Menge an Informationen während eines Einsatzes ist proportional zur Dauer und der Größe des betroffenen Areals. Je länger ein Einsatz dauert, desto schwieriger ist es die Übersicht über die Lage zu behalten. Insbesondere ist die Verwaltung von nicht Ziel führenden Maßnahmen schwierig, wie beispielsweise wo Ortungsmaßnahmen ohne positives Ortungsergebnis durchgeführt wurden. Die Frage, ob die Einsatzkräfte immer Klarheit darüber haben, wo bereits erfolglos Ortungsmaßnahmen durchgeführt worden sind, haben die meisten Teilnehmer mit manchmal beantwortet. Diese Antwort war unabhängig vom Erfahrungsniveau, wie es aus Tabelle 4.2 hervorgeht.

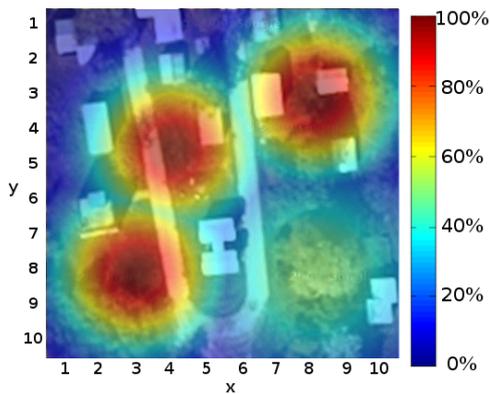
**Tabelle 4.2:** Einstufung der Lageübersicht über den Einsatzablauf: immer Klarheit, wo bereits erfolglos Ortungsmaßnahmen durchgeführt worden sind.

Schwierigkeit	Prozent [%]			
	Unerfahren	Erfahren	Experte	Insgesamt
trifft nicht zu	6,5	7,5	0,0	5,7
selten	8,7	22,2	20,0	14,8
manchmal	28,3	22,2	40,0	28,4
fast immer	19,6	22,2	13,3	19,3
trifft völlig zu	15,2	3,7	6,7	10,2
keine Angabe	21,7	22,2	20,0	21,6

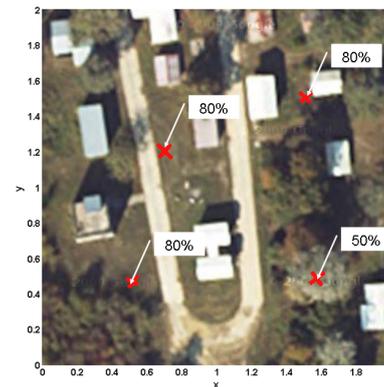
**Darstellung von vermuteten Verschüttetenpositionen:** Den Teilnehmern wurden vier verschiedene Alternativen vorgestellt, wie die von einem Computerprogramm errechnete Wahrscheinlichkeitsangabe einer Verschüttetenposition dargestellt werden kann. Der Informationsgehalt variiert in diesen Darstellungen, wie aus Abb. 4.4 hervorgeht.

Die 4. Alternative (s. Abb. 4.4(a)) mit Punkten, der Liste positiver Befunde und Wahrscheinlichkeitstendenzen wurde von den meisten Teilnehmern als vertrauenswürdig bewertet. Das Ergebnis der Umfrage (zwischen vertrauenswürdig (=4) und sehr vertrauenswürdig (=5)) bezüglich der verschiedenen Alternativen ist: Abb. 4.4(a) – 34,3%, Abb. 4.4(b) – 13,4%, Abb. 4.4(c) – 4,5%, Abb. 4.4(d) – 85,1%.

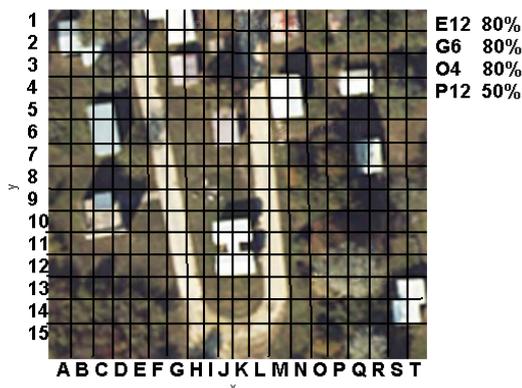
**Darstellung des Einsatzablaufs:** Das THW nutzt das Konzept „Einsatzabschnitt“ (auch „Schadenskonto“ genannt), um die Lesbarkeit einer Einsatzlagedarstellung zu gewährleisten. Ein Einsatzabschnitt ist eine strukturelle Unterteilung des Einsatzortes in Zonen, in denen verschiedene Einheiten Maßnahmen parallel durchführen können. Die Einsatzabschnitte können sich je nach Einsatzort in Größe unterscheiden und können



(a) Wahrscheinlichkeitskarte



(b) Punkte und ihre Wahrscheinlichkeit



(c) Quadranten mit Wahrscheinlichkeit



(d) Punkte mit Liste positiver Befunde und Tendenzen (o, +, ++) basierend auf Regeln

**Abb. 4.4:** Darstellungen der Wahrscheinlichkeit der vermuteten Verschüttetenposition.

sich überlappen oder sogar einander einschließen. Sie können somit in einer hierarchischen Struktur organisiert werden, das heißt einem Einsatzabschnitt können mehrere sogenannte Untereinsatzabschnitte zugeordnet werden. Sie spiegeln daher oftmals die hierarchische - und Kompetenzstruktur der am Einsatz beteiligten Kräfte wider. Zur Darstellung des Fortschritts werden zusätzlich zu den taktischen Symbolen (s. [45]) in der Lagekarte, jeder Einsatzabschnitt mit einer zusätzlichen Übersicht ergänzt. Diese Übersicht wird auch Schadenskonto genannt. Sie ist mit einer Referenz –üblicherweise eine Nummer– mit der geographischen Zone des Einsatzabschnitts auf der Karte verknüpft. In Abb. 1.1(a) auf S. 5 sind solche Schadenskonten zu sehen, in denen der Ort des Schadenskontos, der Einsatzabschnittleiter, der Rufname für Funkanweisungen, Schäden und eingesetzte Kräfte festgehalten werden. Es gibt zwei Möglichkeiten: Entweder wird ein taktisches Symbol in der Karte oder aber in der Übersicht des jeweiligen Einsatzabschnitts platziert.

Die binäre Frage, ob eine Platzierung von taktischen Symbolen immer direkt in der Lagekarte bevorzugt wird, wurde den Teilnehmern gestellt, die Erfahrung hatten mit der Entscheidung an welcher Stelle Bergungs- beziehungsweise Rettungsmaßnahmen ein-

zuleiten sind. Eine direkte Darstellung wurde von 77,8% der Teilnehmer bevorzugt.

Diejenigen Teilnehmer, die eine direkte Darstellung bevorzugten, mussten anschließend folgende drei Gründe bewerten: (1) räumliche Zuordnung ist immer klar, (2) kann Maßnahmen und Zustände besser übersehen, (3) Organisatorische Informationen habe ich immer im Blick. Alle drei Gründe trafen zu. Die Bewertung zwischen „trifft sehr zu“ (=4) und „trifft völlig zu“ (=5) waren für die drei Gründe: 1 – 92.9%, 2 – 92.8%, 3 – 100%.

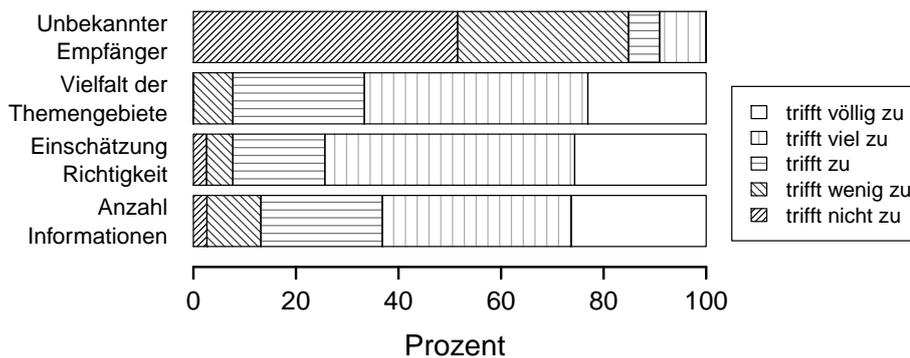
Im Gegensatz hierzu mussten diejenigen, die eine Darstellung außerhalb der Karten bevorzugten, folgende drei Gründe bewerten: (1) Vermindert Übersichtlichkeit, (2) ich habe immer alles im Blick, (3) andere organisatorische Informationen können nicht dargestellt werden. Die Verminderung der Übersichtlichkeit und die Befürchtung, dass andere organisatorische Informationen nicht dargestellt werden könnten, wurden von den Teilnehmern hauptsächlich als zutreffend bewertet. Die Bewertung zwischen „trifft sehr zu“ (=4) und „trifft völlig zu“ (=5) waren für die drei Gründe: 1 – 100%, 2 – 25%, 3 – 100%.

### Kommunikation

Der Informationsfluss stellt für 65,2% aller Teilnehmer eine Herausforderung dar. Erfahrene Einsatzkräfte sind sich dieser Herausforderung mehr bewusst als unerfahrene. Daraus wird geschlossen, dass unerfahrene Einsatzkräfte die Herausforderung der Bewältigung des Informationsflusses unterschätzen. Für Experten hingegen stellt der Informationsfluss eine geringere Herausforderung dar, als für erfahrene Einsatzkräfte. Es scheint eine Lernkurve zu geben. Die Ergebnisse waren: Unerfahrene = 61,1%, Erfahrene = 85,7%, Experten = 41,6%, keine Antwort = 21,6%.

Die Gründe (1) Anzahl der Informationen, (2) Einschätzung der Richtigkeit, (3) Vielfalt der Themengebiete (Gefahren, Vermutungen, Augenzeugen, etc.) sind die Hauptgründe, warum die Bewältigung des Informationsflusses schwer ist, wie es in Abb. 4.5 zum Ausdruck kommt. Der Grund (4) „mir ist nicht klar wer die Information benötigt“ ist nicht so relevant. Die Bewertung zwischen „trifft sehr zu“ (=4) und „trifft völlig zu“ (=5) waren für die Gründe: Anzahl – 63.2%, Richtigkeit – 74.4%, Vielfalt – 66.7%, unbekannter Empfänger – 9.1%. Es ist interessant festzustellen, dass die Anzahl der Informationen für 76,5% der unerfahrenen Einsatzkräfte und nur für 50% der Experten eine Herausforderung darstellt (Bewertung zwischen „trifft sehr zu“ (=4) bis „trifft völlig zu“ (=5)). Bei der Einschätzung der Richtigkeit ist es ähnlich: Für 83,3% der unerfahrenen ist dies eine Herausforderung, wohingegen es nur für 25% der Experten den Informationsfluss erschwert (Bewertung zwischen „trifft sehr zu“ (=4) bis „trifft völlig zu“ (=5)). Die Vielfalt erschwert den Informationsfluss für alle Erfahrungsniveaus gleichermaßen.

**Alternative Kommunikationsmittel:** Der Informationsfluss kann eine Herausforderung darstellen, weil die Kommunikationsmittel nicht ausreichen oder nicht angepasst sind, um Informationen zeitnah weiterzugeben. Es wurde der Frage nachgegangen, ob die vorhandenen Kommunikationsmittel wie beispielsweise der Zwei-Wege Sprechfunk ausreichen, um den Kommunikationsbedarf zu decken. Tabelle 4.3 zeigt, dass die vorhandenen Kommunikationsmittel manchmal bis meistens ausreichen. Es überrascht nicht, dass insbesondere bei unerfahrenen Einsatzkräften keine eindeutige Tendenz feststellbar ist. Experten hingegen befinden, dass die vorhandenen Kommunikationsmittel meistens ausreichen.



**Abb. 4.5:** Relevanz von vier Gründen, die den Informationsfluss erschweren.

**Tabelle 4.3:** Allgemeine Deckung des Kommunikationsbedarfs bei Ortungseinsätzen.

<b>Deckung</b>	<b>Prozent [%]</b>			
	<b>Unerfahren</b>	<b>Erfahren</b>	<b>Experte</b>	<b>Insgesamt</b>
nie	8,7	3,8	0	5,7
selten	32,6	11,1	13,3	22,7
manchmal	15,2	29,6	26,7	21,6
meistens	19,6	25,9	33,3	23,9
immer	2,2	7,4	6,7	4,5
keine Angabe	21,7	22,2	20,0	21,6

Die Teilnehmer, für die die Kommunikationsmittel nicht immer während Einsätzen ausreichend waren, mussten angeben, auf welche anderen sie am ehesten zurückgreifen. Das Telefon scheint das beliebteste alternative Kommunikationsmittel zu sein, gefolgt von der persönlichen Übertragung durch einen Melder, Textnachricht über Mobilfunktelefon (SMS), Fax, Satellitentelefon und schließlich das Internet. Es sei darauf hingewiesen, dass Experten noch eher auf einen Melder zurückgreifen, als auf das Telefon.

### 4.1.3 Diskussion der Umfrageergebnisse

Im Folgenden sollen die Ergebnisse der Umfrage diskutiert werden. Es wird die Fähigkeit der Einschätzung der Glaubwürdigkeit diskutiert. Anschließend wird erläutert, ob es einer Unterstützung bei der 5-Phasentaktik bedarf. Die Effizienz mit Ortungsmethoden wird Revue passiert, bevor auf die Akzeptanz einer automatischen Informationsverarbeitung und die Darstellung von deren Ergebnisse eingegangen wird. Der Priorisierungsprozess basierend auf diesen Ergebnissen wird daraufhin erörtert. Zu guter Letzt wird der Bedarf an erweiterten Kommunikationsmitteln diskutiert.

Die Einschätzung der Glaubwürdigkeit von Information beeinflusst vorwiegend die Entscheidung, Bergungsmaßnahmen einzuleiten. Es scheint, dass Bergungsmaßnahmen vorwiegend ausgeführt werden, wenn Gewissheit über die Existenz eines Verschütteten besteht. Es kann jedoch nicht immer Gewissheit während eines Einsatzes erlangt werden. Die entscheidende Frage bei der Rettung von unerkannten Verschütteten ist,

wie objektiv ein Entscheidungsträger bei der Einschätzung von ungewissen Informationen ist. Dies sollte weiter untersucht werden. Das klare Ergebnis zur Nachortung zeigt den Unterstützungsbedarf bei der Verwaltung von Ortungsergebnissen in ihrem zeitlichen und örtlichem Kontext auf. Fundorte und Augenzeugenberichte sollten ebenfalls kategorisiert festgehalten werden. Sie sind oftmals Grundlage für die Entscheidung, wo Ortungsmaßnahmen fortgesetzt oder eingeleitet werden sollen.

Diese Umfrage hat zum Ziel eine Antwort auf die Frage zu finden, ob Einsatzkräfte auf der Basis ungewisser, positiver Ortungsbefunde und somit mit dem Risiko eines Misserfolges dennoch Bergungsmaßnahmen einleiten. Eine Analyse der Antworten auf die Frage 9 des Fragebogens zeigt, dass ein Ressourcenmangel, die Glaubwürdigkeit und die Anzahl von ungewissen, positiven Ortungsbefunden Einsatzkräfte eher von Bergungsmaßnahmen abhalten. Falls die Einsatzkräfte bei ihrer Entscheidung zum Einleiten von Bergungsmaßnahmen auf Basis von ungewissen, positiven Ortungsbefunden unter Druck stehen, etwa durch die „Größe des noch nicht abgesuchten Einsatzgebietes“ oder durch „Zeitdruck“, so können sie in zwei Gruppen nach ihrem Entscheidungsmuster aufgeteilt werden: Die erste Gruppe tendiert von Bergungsmaßnahmen abzusehen. Die zweite Gruppe scheint auch in Drucksituationen das Risiko eines Misserfolges in Kauf zu nehmen. Dieses Ergebnis widerspiegelt das Dilemma, in dem sich Entscheidungsträger bei einem Ortungseinsatz mit beschränkten Ressourcen befinden. Den Einsatzkräften scheint keine universale Strategie bei der Entscheidungsfindung bei dem großen Handlungsspielraum bekannt zu sein, mit der sie möglichst viele Verschüttete retten können.

Die 5-Phasentaktik stellt sicher, dass ein Ortungseinsatz eine hohe Rettungseffizienz erzielt. Die Umfrage hat gezeigt, dass die Teilnehmer an der Umfrage keine Schwierigkeiten bei ihrer Befolgung haben. Diese Strategie scheint den weit verbreiteten Standard darzustellen. Die Teilnehmer, die Schwierigkeiten bei ihrer Befolgung hatten, kannten keine bessere Vorgehensweise. Als Grund für die Schwierigkeiten gaben sie an, sie sei nicht auf alle Szenarien anwendbar. Demzufolge scheint es der 5-Phasentaktik an Flexibilität zu fehlen. Dies ist auf Grund ihrer statischen Natur nicht erstaunlich. Eine Unterstützung bei der Befolgung der 5-Phasentaktik scheint nicht erforderlich zu sein, da die Gründe Stress und Zeitdruck nicht angegeben wurden. Stress ist allgemein als Faktor bekannt, der die Qualität einer Entscheidung vermindert [110]. Der Stress scheint jedoch keinen Einfluss auf die Befolgung der 5-Phasentaktik zu haben. *Shen et al.* haben durch eine empirische Erhebung gezeigt, dass Prozeduren, wie sie bei einem Rettungseinsatz meistens eingesetzt werden, am besten für die Koordination von Maßnahmen in einer Umgebung mit geringer Ungewissheit funktionieren [171]. In einer Umgebung mit hoher Ungewissheit scheinen Besprechungen in Gruppen für die Koordination von Maßnahmen eher eingesetzt zu werden. Offen bleibt die Frage, ob mehr Besprechungen die Effizienz von Ortungseinsätzen vergrößern könnte.

Die Umfrage basierte auf der Hypothese, dass Einsatzkräfte systematisch die Ortungsmethoden in Abhängigkeit der Umgebung auswählen. Eine Analyse der Ergebnisse zur Suchtaktik auf S. 52 weist auf, dass die Einsatzkräfte nicht nur die Auswahl sondern auch die Entscheidung zur Reihenfolge der Anwendung von Ortungsmethoden auf Basis der Leistungsfähigkeit, der Bedingungen am Einsatzort und der Fähigkeiten der Anwender treffen. Die Systematik basiert hier auf einer Einschätzung dieser Faktoren durch den Entscheidungsträger, jedoch nicht auf Regeln. Diese Schlussfolgerung wird bestärkt durch die Tatsache, dass die Entscheidungsträger pragmatisch vorgehen,

indem sie die Reihenfolge der Anwendung von Ortungsmethoden nach Verfügbarkeit entscheiden.

Daraus folgt, dass bei diesen Entscheidungen die Erfahrung des Entscheidungsträgers maßgeblich den Rettungserfolg bestimmt. In Anbetracht der mangelnden Entscheidungserfahrung eines Großteils der befragten Einsatzkräfte ist dies problematisch. Aus diesem Grund scheint es wichtig zu sein, die systematische Vorgehensweise von erfolgreichen und erfahrenen Entscheidungsträgern in Regeln festzuhalten.

Die Einsatzkräfte bevorzugen eine systematische Vorgehensweise bei der Suche nach Verschütteten, was auch die Empfehlung in der Ausbildung (s. [178]) widerspiegelt. Nichtsdestotrotz bleibt die Frage offen, wie bei einer systematischen Vorgehensweise Augenzeugenberichte einfließen, ohne die Systematik zu kompromittieren. Die Unterstützung bei der Sucheinsatzplanung wie beispielsweise die Allokation von Ortungsteams unter Berücksichtigung ihrer Verfügbarkeit oder die Reihenfolge von Ortungsmethoden sollte die Leistungsstärke einer Suchmethode und die Umgebung des Einsatzortes mitberücksichtigen, um die optimale Effizienz eines Einsatzes zu erreichen. Welche Systematik am effizientesten ist, kann mit der Umfrage nicht beantwortet werden. Diese Frage sollte weiter untersucht werden.

Die Überforderung bei der Bewältigung des Informationsflusses scheint unter anderem durch die Anzahl an Informationen bedingt zu sein, wie aus der Abb. 4.5 hervorgeht. Als Lösungsansatz zur Verringerung dieser Überforderung kann eine automatische Informationsfusion eingesetzt werden. Diese erlaubt nach *Wald* neben der Verringerung der Komplexität gleichzeitig die Qualität der Information zu verbessern [188]. Dies gilt insbesondere für ungewisse Informationen. Einsatzkräfte scheinen eine solche Unterstützung zu schätzen, dennoch bevorzugen sie die Möglichkeit Rohinformationen gleichzeitig einzusehen. Dies erlaubt ihnen die Ergebnisse einer automatischen Verarbeitung zu überprüfen. Dieser Wunsch spiegelt womöglich die Skepsis der Einsatzkräfte bezüglich der automatischen Verarbeitung wider, was in Anbetracht der Neuheit dieser Art von Funktionalität und des hohen Risikos bei solchen Einsätzen gerechtfertigt ist.

Ein Vorteil einer zentralisierten Darstellung des Einsatzfortschritts und der Informationsfusion ist die Priorisierung der Rettungsaktionen, die sich auf eine Einschätzung der Glaubwürdigkeit von Information stützt. Informationsfusion erlaubt es den Einsatzkräften ihre Entscheidungen auf einer objektiveren Basis als ihre subjektive Einschätzung zu treffen. Die Einsatzkräfte bevorzugten einen qualitativen Ausdruck der Gewissheit in einer limitierten Anzahl von Klassen anstatt einer feineren Metrik. In Abb. 4.4(d) wurden nur drei verschiedenen Klassen gezeigt (o, + und ++). Mit drei Klassen ist jedoch eine rationale Entscheidung der Reihenfolge der Rettungsmaßnahmen nur bis drei Verschütteten möglich, falls diese unterschiedlichen Klassen zugeordnet werden. Bei mehr als drei Verschütteten könnten die Einsatzkräfte hingegen keine Reihenfolge auf der Basis eines quantitativen Kriteriums bestimmen. Außerdem muss der Bergungsaufwand mitberücksichtigt werden, um den Rettungsaufwand zu bestimmen. Ein dreidimensionales Modell der Struktur, in der der Verschüttete fest sitzt, erlaubt es die optimale Herangehensweise bei der Bergung zu bestimmen [93]. Raummodelle existieren für Übungszwecke von Ortungseinsätzen [75], existieren jedoch nicht während eines Einsatzes. Die Technologie, ein Volumenmodell von einer eingestürzten Struktur zu erzeugen, ist derzeit nicht Stand der Technik. Die meisten Sensoren sind heutzutage nur in der Lage, ein Oberflächenmodell zu erzeugen, da sie auf optischen - und Reichweiten-Sensoren basieren [29, 90].

Einsatzkräfte müssen sich aus diesem Grund ausschließlich auf ihre eigene Wahrnehmung stützen, um die dreidimensionale Struktur abzuschätzen. Es existieren heutzutage bildgebende Verfahren zur Bodenerkundung (beispielsweise [95]). Die Interpretation von deren Ergebnissen ist jedoch nicht intuitiv, da diese in zweidimensionalen Schichten dargestellt werden. Somit sollte eine maschinelle Priorisierung mit einer menschlichen Einschätzung des Bergungsaufwands verbunden werden.

Eine Darstellung auf Papier ist beschränkt, da der Detailgrad der Lageübersicht immer vollständig dargestellt werden muss. Im Gegensatz hierzu haben Maßstab veränderbare, digitale Lagekarten, wie sie beispielsweise in sogenannten „Geographischen Informationssystemen“ vorzufinden sind, den großen Vorteil, den Detailgrad an den jeweiligen Maßstab anzupassen [190]. Dieses Problem wurde in der Umfrage insofern bestätigt, da die meisten Teilnehmer eine Darstellung von taktischen Symbolen in einer Karte bevorzugten. Die anderen scheinen bei der Beantwortung der Frage 19 nicht berücksichtigt zu haben, dass die Filterung von in Kategorien zusammengefasste Informationen die Darstellung erleichtern kann. Ein Filter, das die Informationen beispielsweise relativ zum Maßstab ein- oder ausblendet ist eine quasi Standard-Funktionalität eines geographischen Informationssystems. Die Lageübersicht zu behalten, stellt für die Einsatzkräfte eine Herausforderung dar, ganz unabhängig wie diese ausgearbeitet ist. Das kollektive Lagebewusstsein zu stärken, könnte die Effizienz bei der Bewältigung eines Einsatzes verbessern. Ein verbessertes kollektives Lagebewusstsein verhindert nämlich Maßnahmen unberücksichtigt zu lassen, die bei der Entscheidung einer optimalen Reihenfolge der Ausführung von Maßnahmen berücksichtigt werden sollten. Bei der Planung der Reihenfolge von Maßnahmen sollte zusätzlich der Aufwand vom Transport von Einheiten von einem Ort zum nächsten geringerer Priorität mitberücksichtigt werden. Dies gilt vor allem, wenn Einsatzkräfte sich nur zu Fuß fortbewegen können [48].

Ebenfalls zeigt die Umfrage, dass Einsatzkräfte nicht vorbereitet sind, um mit einer Wahrscheinlichkeitskarte der vermeintlichen Verschüttetenpositionen umzugehen. Sie vertrauen Punkten auf einer Karte am meisten. Ein Grund könnte deren Unmissverständlichkeit bei der Bestimmung der Stellen sein, an denen Maßnahmen durchgeführt werden sollen.

Es ist eine allgemein bekannte Tatsache, dass Kommunikation die Leistung eines Einsatzes beeinflusst [49, 133]. Es ist jedoch nicht nur die Fähigkeit zu kommunizieren, sondern auch das Kommunikationsmedium, das einen Einfluss hat. So ist die Weitergabe von Informationen auf flüchtigen Medien, wie dem Sprechfunk, dem Telefon und dem gewöhnlichen Sprechen mit folgenden Problemen verknüpft. Erstens ist keine Struktur vorgegeben, die die Vollständigkeit und Kohärenz des Inhalts einer Meldung sicherstellt. Zweitens hat die Weitergabe von Nachrichten auf flüchtigen Medien den großen Nachteil, dass sie ohne besondere Maßnahmen nicht abgespeichert wird. Somit wird der Inhalt einer flüchtigen Nachricht bei ihrer Verbreitung oftmals bis zur Unverständlichkeit verändert. In der Umfrage wurden alle flüchtigen Medien bevorzugt im Gegensatz zu beständigen Medien wie dem Internet, dem Fax und der SMS-Textnachricht. Dies ist insofern erstaunlich, da die beständigen Medien die vorher erwähnten Nachteile nicht aufweisen. Dies mag die Hypothese von Shen et al. bestärken [171], dass einfache Textnachrichten nicht ausreichen, um zwischen verschiedenen Organisationen Aktionen zu koordinieren. Wahrscheinlich werden der Aufwand eine Information auf einem beständigen Medium festzuhalten und das Fehlen einer sofortigen Empfangsbestätigung als ungeeignet

für die Bewältigung von Ortungseinsätzen empfunden. Es bleibt unklar, ob Einsatzkräfte georeferenzierte Textnachrichten als vorteilhaft ansehen würden. Vermutet wird eine positive Reaktion auf diese Art zu kommunizieren, da Experten, alternativ zum Sprechfunk, sich vorrangig auf persönliche Melder stützen. Diese können sicherstellen, dass ein Empfänger die Beschreibung einer Stelle verstanden hat. Die flüchtigen Medien haben den großen Nachteil, dass auf ihrer Basis nach einem Einsatz Erfahrungen nur schwer zu konsolidieren sind. Die Einschätzung der Leistungsfähigkeit einer Ortungsmethode basiert auf genauen Ortsangaben, die beim Einsatz flüchtiger Medien zur Kommunikation nicht genau wiedergegeben werden kann. Eine genaue Ortsangabe ist jedoch von größter Wichtigkeit zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit von Ortungsmethoden. Die Unterschiede in den Antworten unter den verschiedenen Erfahrungsniveaus bezüglich der Kommunikationsmittel (s. Tabelle 4.3) könnte auch ein Hinweis darauf sein, dass Informationen leichter von einer höheren Hierarchiestufe zu einer niedrigen kommuniziert werden kann als umgekehrt.

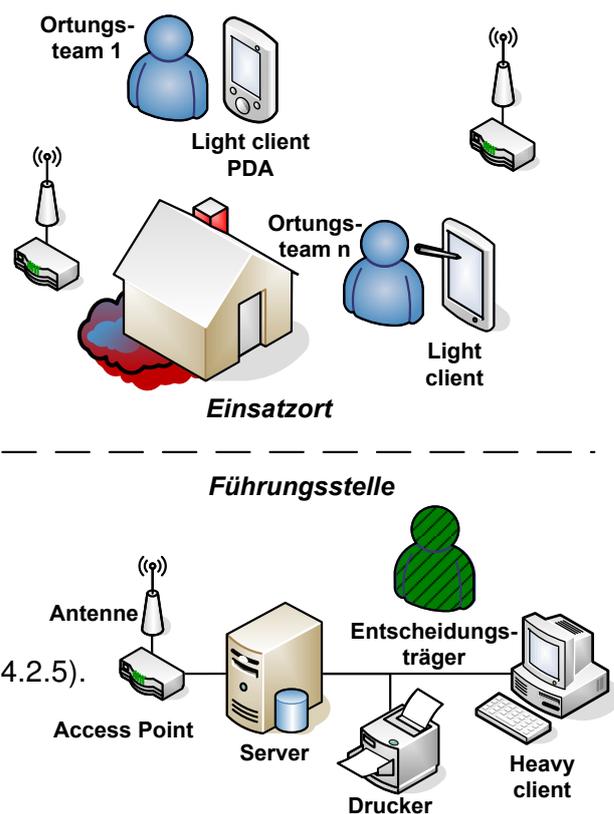
## 4.2 Spezifikationen eines IT-Systems für Ortungseinsätze in Trümmern

Dieser Abschnitt präsentiert die Spezifikationen eines IT-Systems für die Unterstützung von Ortungseinsätzen in Trümmern. Diese stützen sich unter anderem auf die in Abschnitt 4.1 vorgestellten Ergebnisse einer eigens für diese Arbeit durchgeführten Bedarfsanalyse. In Bezug auf diese Ergebnisse steht die Umsetzung folgender drei Hauptanforderungen im Fokus:

- Erfassung, Darstellung und Verarbeitung von ungewissen Ortungsbefunden: Die Erfassung soll vor allem bzgl. der ungewissen Informationen strukturiert erfolgen und die Vollständigkeit sicherstellen.
- Unmittelbar, geteiltes Lagebewusstsein durch Verbesserung der Kommunikation: Es soll vor allem der Datendurchsatz vergrößert werden.
- Möglichkeit einer ortsgenauen Nachbereitung eines Ortungseinsatzes: Es soll durch eine dauerhafte Datenspeicherung die Konsolidierung von Erfahrungen ermöglicht werden.

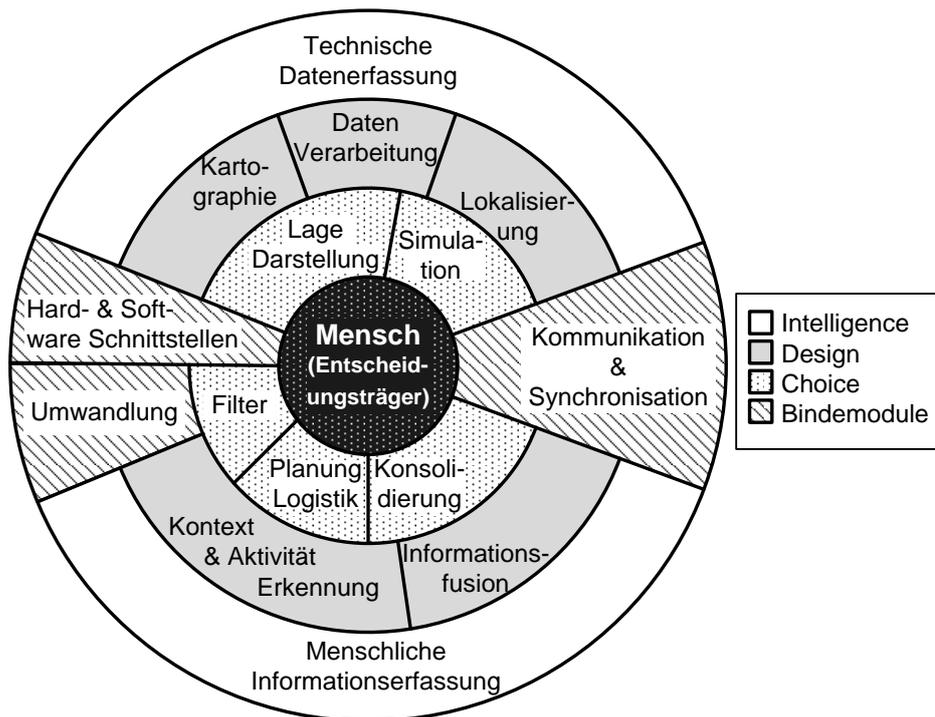
Die Beschreibung der Spezifikationen basiert auf dem Standard der „Unified Modeling Language“ (UML). Die Sprache UML ermöglicht die Strukturen und das Verhalten eines IT-Systems zu beschreiben. Für mehr Informationen zur Sprache UML sei auf folgende Werke verwiesen: [113, 152]. Ein wesentlicher Bestandteil von UML sind sogenannte UML-Diagramme, die das IT-System veranschaulichen. Der Anwendungsfall „Fusion von Informationen“ (Abschnitt 4.2.4) wird gesondert und detailliert aufgegriffen, obwohl er den Anwendungsfall „Daten verarbeiten“ (s. Abschnitt 4.2.1) erweitert. Dies gilt auch für den Anwendungsfall „Entscheidungsunterstützung“ (Abschnitt 4.2.5). Der Grund dafür ist deren Wichtigkeit.

Ein Informationssystem zur Unterstützung eines Ortungseinsatzes muss prinzipiell zumindest zwischen zwei Typen von Akteuren unterscheiden: der Einsatzkraft im Ortungsteam und dem Entscheidungsträger in der Führungsstelle, wie es Abb. 4.6 zeigt. Einsatzkräfte befinden sich am Einsatzort und bewältigen vor allem ope-



**Abb. 4.6:** Aufbau eines zwischen Einsatzkräften am Einsatzort und der Führungsstelle verteilten IT-Systems. Die kabellose Kommunikationsinfrastruktur ist mobil und für den Außeneinsatz tauglich.

rationelle Aufgaben. Im Rahmen einer digitalen Informationsverwaltung kommt zusätzlich die Aufgabe der Informationserfassung vor Ort hinzu. Der Entscheidungsträger in der Einsatzleitstelle ist hingegen mit strategischen Aufgaben betraut. Aus der Perspektive der digitalen Unterstützung von Ortungseinsätzen steht der Entscheidungsträger im Mittelpunkt. Aus diesem Grund wird er im Zentrum der Abb. 4.7 dargestellt. Bis es zu einer Entscheidung kommen kann, werden mehrere Module benötigt, die aufeinander aufbauen. Abbildung 4.7 zeigt alle Module, die maßgeblich den Entscheidungsprozess unterstützen. Sie ist komplementär zum Anwendungsfalldiagramm, das im nächsten Abschnitt vorgestellt wird.



**Abb. 4.7:** Module der Unterstützung des Entscheidungsträgers geordnet von operationalen zu strategischen Aufgabenfeldern. Die Module sind nach den drei Phasen des Entscheidungsprozesses nach *Simon et al.* geordnet.

Diese Module sind nach *Simon et al.* [172] in drei Phasen unterteilt: „Intelligence“, „Design“ und „Choice“.

In der „Intelligence“ Phase wird die Umgebung eines Ortungseinsatzes erfasst. Es gilt die technische von der menschlichen Erfassung zu unterscheiden, da die erstere Daten und letztere Beobachtungen generiert.

Auf dieser Erfassung baut die „Design“ Phase auf. In dieser Phase werden die erfassten Informationen verarbeitet, mit dem Ziel Entscheidungen eines Menschen in der „Choice“ Phase zu unterstützen. Werden beispielsweise digitale Luftbilder erfasst, so ermöglicht das Modul Kartographie diese Luftbilder so aufzubereiten, dass sie in einem IT-System dargestellt werden können. Falls keine Luftbilder zur Verfügung stehen, ist es besonders wichtig, dass das Modul Kartographie Funktionen bereithält, die das Skizzieren der Einsatzstelle und das Festhalten der aktuellen Lage ermöglicht. Die Lokalisierung verhilft unter anderem die Position von mobilen Einheiten zu bestimmen. Dies ist wichtig, da oftmals eine automatische Erkennung des Kontextes und der Akti-

vität von Einsatzkräften deren Schutz vergrößern kann. Die Fusion von Informationen wird im Abschnitt 4.2.4 gesondert dargestellt, da sie die Datenverarbeitung erweitert. Bei der Fusion von Information gilt es vor allem Ortungsbefunde so zu verarbeiten, dass Entscheidung zum Ort des Einleitens von Bergungsmaßnahmen unterstützt werden können.

Die „Choice“ Phase beinhaltet Module, die Entscheidungen unmittelbar unterstützen. Darunter befinden sich das Modul Lagedarstellung, die Filterung, Funktionen zur Simulation oder zur Planung. Auch die Konsolidierung von Erfahrungen hilft konkret Entscheidungen zu unterstützen.

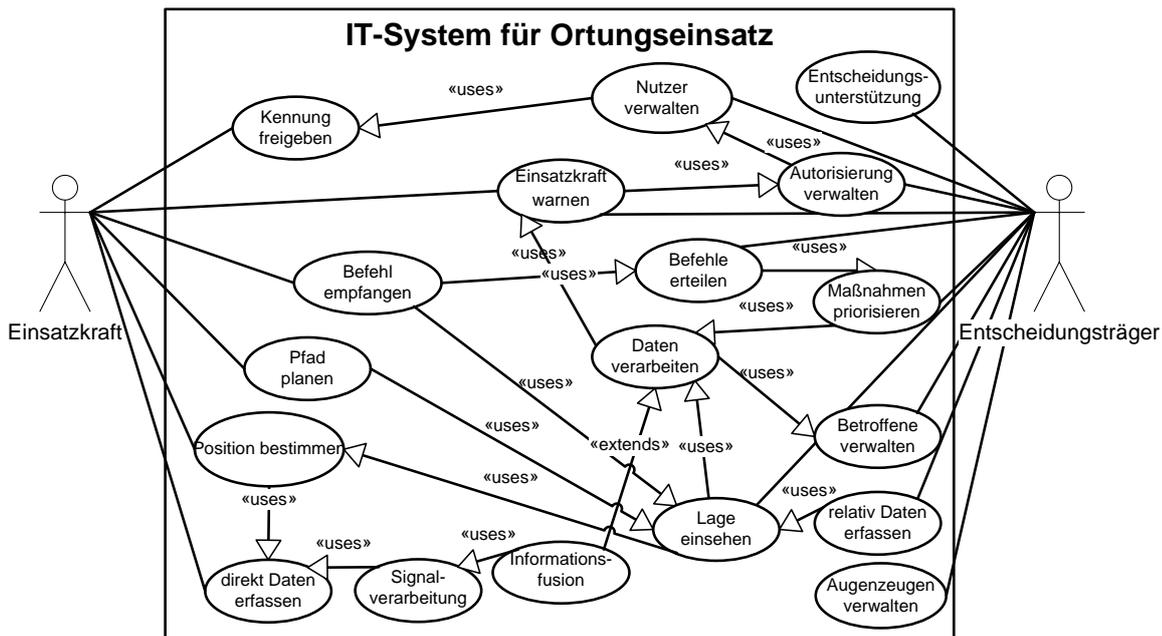
Schraffiert dargestellt sind die Module, die sich nicht einer einzelnen Phase zuordnen lassen. So muss beispielsweise ein Befund einer Einsatzkraft erst digital erfasst werden, bevor eine automatische Analyse des neu erfassten Befunds im Zusammenhang bereits erfasster erfolgen kann. Da es sich dabei um einen Umwandlungsprozess von einer menschlichen Informationserfassung zu einer Software Komponente handelt wird er von einer rein technischen Umwandlung unterschieden. Eine technische Umwandlung beispielsweise vom Modul „Technische Datenerfassung“ zum Modul „Daten Verarbeitung“ bedarf einer Schnittstelle, die sowohl Hardware als auch Software technisch spezifiziert werden muss. Bei einem mobilen Informationssystem stellen die Kommunikation sowie die Synchronisation ebenso Bindemodule dar.

Es folgt eine Präsentation der Spezifikationen unter anderem anhand eines Anwendungsfalldiagramms, eines Komponentendiagramms, zweier Aktivitätsdiagramme, eines Informationsflussdiagramms und eines Sequenzdiagramms.

### 4.2.1 Anwendungsfalldiagramm

Ein Anwendungsfalldiagramm unterscheidet den Systemkontext, Akteure, Anwendungsfälle und Assoziationen zwischen ihnen. Der Systemkontext ist das IT-System, das einen Ortungseinsatz unterstützt. Die Akteure sind die Einsatzkraft sowie der Entscheidungsträger. Drei Typen von Assoziationen gilt es in Abb. 4.8 zu unterscheiden. Eine Assoziation von einem Akteur zu einem Anwendungsfall wird mit einem Strich dargestellt. Assoziationen zwischen Anwendungsfällen werden als Pfeil dargestellt. Falls ein Anwendungsfall einen anderen erweitert, so ist der Pfeil mit dem Wort «extends» gekennzeichnet. Falls jedoch ein Anwendungsfall auf einen anderen aufbaut, so ist dem Pfeil das Wort «uses» beigefügt.

Die Einsatzkraft vor Ort führt vor allem angeordnete Maßnahmen wie beispielsweise die Suche nach Verschütteten aus und übermittelt den Erfolg der Maßnahme an die Führungsstelle. In einem dynamischen Kontext kann es dabei zu Ausnahmen kommen wie beispielsweise Gefahrensituationen, die es zu vermeiden gilt. Die Abbildung 4.8 zeigt diesen Anwendungsfall. Zentral für die Einsatzkraft sind hierbei die Anwendungen „direkt Daten erfassen“, „Pfad planen“, vor Gefahren „Einsatzkraft warnen“ und „Befehle erhalten“, die es zu befolgen gilt. Der Unterschied zwischen direkter und relativer Datenerfassung wird auf S. 66 erklärt. Die Einsatzkraft kann auch Zugang zur Lagedarstellung haben, die sie beispielsweise bei der Planung eines Pfades oder der Navigation am Einsatzort unterstützt. Die aktuelle Position einer Einsatzkraft wird automatisch lokalisiert und ist in der Lagedarstellung verfolgbar. Die Lokalisierung von Einsatzkräften ermöglicht es automatisch diejenigen zu identifizieren, die sich in Gefahrenzonen befinden. Außerdem können der Einsatzleiter sowie die Einsatzkraft selbst automatisch gewarnt



**Abb. 4.8:** Anwendungsfalldiagramm eines IT-Systems für Ortungseinsätze.

werden, falls der Einsatzleiter der Einsatzkraft keine explizite Autorisierung zum Betreten der Gefahrenzone erteilt hat.

Die Anwendungsfälle des Entscheidungsträger in der Führungsstelle sind mit denen der Einsatzkraft vor Ort verknüpft. Der Entscheidungsträger sieht die Lage ein, um Maßnahmen zu priorisieren und Einsatzbefehle zu erarbeiten und diese an geeignete Einsatzkräfte zu erteilen. Er kann jedoch auch Informationen erfassen. Um den räumlichen Aspekt dabei nicht zu vernachlässigen, wird die Information meistens relativ zur Lagedarstellung und der darauf verfügbaren Orientierungspunkte verortet. Den Anwendungsfall „Betroffene verwalten“ übernimmt ebenfalls der Entscheidungsträger, der sich vor allem auf Augenzeugen stützt. Diese Verwaltung ist die zentrale Entscheidungsgrundlage zum Fortführen des Ortungseinsatzes. Augenzeugen sind wichtige Informationsquellen und sollten im System ebenfalls verwaltet werden, um sie bei Rückfragen nicht nur über Betroffene, sondern auch zur räumlichen Struktur des Gebäudes vor dem Einsturz kontaktieren zu können.

Der Führungsstelle stehen auch Konfigurationsfunktionen zur Verfügung, die ihr zum einen erlauben, die Darstellung an ihren Bedarf anzupassen und zum anderen die Eingabemasken zur Datenerfassung zu verwalten<sup>6</sup>. Vorweg nehmend ergab eine Erprobung des Demonstrator-IT-Systems<sup>7</sup>, dass dem Einsatzleiter eine andere Person beigelegt sein sollte, der diese Konfigurationsaufgaben übernimmt, damit sich der Einsatzleiter gänzlich auf den Einsatz konzentrieren kann. Dies würde sich im Anwendungsdiagramm durch einen dritten Typ Anwender widerspiegeln, der nicht dargestellt ist, da er heutzutage nicht Teil der Einsatzstabsstruktur ist.

Auch wenn alle Informationen prinzipiell auf allen „heavy clients“ abrufbar sind, sollte der Zugang zu Informationen kontrolliert werden. Anwender sollten nur Zugang zu In-

<sup>6</sup>Um die Übersichtlichkeit zu wahren, wurde dieser Anwendungsfall in Abb. 4.8 nicht dargestellt.

<sup>7</sup>Integrations- und Evaluations-Workshop des IT-Systems anhand eines Planspiels in Köln, 2011.

formationen haben, die erforderlich für die Bewältigung ihrer Aufgaben sind. Haben beispielsweise Pressemitarbeiter Zugang auf das IT-System, muss insbesondere darauf geachtet werden, dass Personen bezogene Daten der Betroffenen sowie der Einsatzkräfte geschützt werden. Dies entspricht der rechtlichen Forderung nach informationeller Selbstbestimmung im Kontext der Gefahrenabwehr und der Rettung von Menschenleben, die durch *Zimmermann* im Rahmen der Entwicklung der Handyortung während des I-LOV-Projektes untersucht worden ist ([185], S. 105 ff.). Nach ihr überwiegt bei weitem das Ziel der Rettung von Menschenleben gegenüber den nachteiligen Folgen eines Eingriffs in das Recht der informationellen Selbstbestimmung. Da während eines Einsatzes eine Rettungskraft unterschiedliche Rollen annehmen kann, sollte darauf geachtet werden, dass der administrative Aufwand, um ihm Zugang zu unterschiedlichen Daten zu gewähren, so gering wie möglich gehalten wird. Dies ist eine weitere Konfigurationsaufgabe, die im Anwendungsfall „Nutzer verwalten“ enthalten ist.

#### 4.2.2 Anwendungsfall Erfassung von ortungsrelevanten Informationen

Bei der Ortung von Verschütteten ist es von Wichtigkeit, dass die Erfassung von Information in einem IT-System mit einem Raumbezug und einem Zeitstempel einhergeht. Dabei ist die menschliche von der technischen Erfassung zu unterscheiden, wie es Abb. 4.7 darstellt.

Bei einer Suche nach Verschütteten stehen ortsspezifische Informationen im Vordergrund. Deshalb ist die Eingabe von Orten wichtig.

Die Angabe eines Ortes bedarf eines Koordinatensystems, das von allen Teilnehmern geteilt wird.

Ein weit verbreitetes ist das sogenannte „World Geodetic System 1984“ Koordinatensystem, da GPS darauf basiert [146]. Ein Punkt in einem Vektormodell ist Träger von geometrischer Information, der mit verschiedenen Attributen ergänzt werden kann [28]. Grundsätzlich gibt es entweder Angaben zu einer Position, beispielsweise dem Aufenthaltsort eines Verschütteten, oder zu einer Fläche. Eine Fläche könnte beispielsweise eine Gefahrenzone sein, die die Einsatzkräfte gefährdet. Ein IT-System für den Ortungseinsatz muss dem Anwender Möglichkeiten bieten, Positionen wie Flächen einfach einzugeben [70].

Auch die Zeit spielt bei der Suche eine wichtige Rolle. Ein IT-System muss in der Lage sein, den Zeitstempel der Erfassung der Information vor Ort und den Zeitstempel des Eingangs einer Meldung in der Führungsstelle festzuhalten. Die Differenz dieser beiden Zeitstempel ermöglicht die Analyse der Verzögerung in der Kommunikation zwischen Einsatzkräften vor Ort und Führungsstelle. Eine weitere Differenzierung kann durch den Zeitstempel der Bestätigung des Erhalts der Information durch die Führungsstelle vorgenommen werden. Dieser wäre interessant, da er eine Analyse der Unterschiede zur Sprechfunkübertragung erlaubt. Der Eingang einer Information bei einer digitalen Informationsverwaltung ist nicht zwingend mit dem Erhalt, das heißt der Wahrnehmung einer Meldung durch eine Einsatzkraft, korreliert. Im Gegensatz impliziert der Eingang einer Meldung über Sprechfunk dessen Erhalt.

Im Folgenden wird zuerst auf die menschliche und anschließend auf die technische Erfassung ortungsrelevanter Information eingegangen. Bei der menschlichen Erfassung

werden insbesondere Möglichkeiten zur Erfassung von Geodaten und deren Verknüpfung mit weiteren Informationen vorgestellt.

### **Menschliche Informationserfassung**

Bei der menschlichen Informationserfassung am Einsatzort müssen Sinneswahrnehmungen in eine an die Führungsstelle vermittelbare Form verwandelt werden. Dieser Umwandlungsprozess ist das Bindeglied zwischen menschlicher Erfassung und der maschinellen Verarbeitung von Information, wie es Abb. 4.7 darstellt. Ortsangaben durch Einsatzkräften erfolgen anhand von bekannten Bezugspunkten und sind deshalb für eine maschinelle Verarbeitung in einem IT-System zur Entscheidungsunterstützung nicht geeignet. Für die maschinelle Verarbeitung von Information muss Information nicht nur digitalisiert, sondern auch vorzugsweise standardisiert werden. Ein IT-System muss deshalb die Infrastruktur schaffen, um die menschliche Erfassung georeferenzierter Information zu ermöglichen.

Die manuelle Eingabe der Raumkoordinaten durch den Anwender entspricht einer sogenannten „indirekten Erfassung“ einer raumbezogenen Information. Diese Art von Eingabe nimmt an, dass dem Anwender eine andere Methode zur Ermittlung der Position wie beispielsweise ein GPS-Empfänger zur Verfügung steht, die nicht im Informationserfassungsterminal integriert ist. Diese Art von Eingabe ist flexibel, birgt jedoch die Gefahr von Fehlern in sich. Eine Meter genaue Koordinate im Grad Dezimal Format hat nämlich mehr als sechs Nachkommastellen.

Die Eingabe von Flächen kann beispielsweise mit einer Liste der Koordinaten der Ecken eines Polygons oder mit dem Zentrum und dem Radius eines Kreises beschrieben werden. Die indirekte Eingabe ist vor allem in Führungsstellen wichtig.

Die sogenannte „direkte Eingabe“ bedient sich eines Lokalisierungssystems, das im Informationserfassungsterminal integriert ist. Dieses System ermöglicht die automatische Bestimmung der aktuellen Position des Anwenders. Dieser Ort der Informationsgewinnung sowie die erfasste Information können somit gemeinsam abgespeichert werden. Diese Eingabe ist für den Anwender relativ einfach, ist jedoch in zweierlei Hinsicht beschränkt. Erstens muss sich die Person entweder an dem Ort aufhalten oder Distanz, Himmelrichtung und Höhe des Ortes kennen, zu dem sie Informationen erfassen möchte. Dies ist jedoch ungenau oder nicht möglich, falls beispielsweise die Position nicht einsehbar ist. Zweitens würde die Eingabe einer nicht vordefinierten Fläche (beispielsweise Kreis, Ellipse, Rechteck) um die aktuelle Position die Eingabe der Eckkoordinaten der betroffenen Fläche erfordern. Die direkte Eingabe eignet sich vor allem zur Erfassung von Information durch Einsatzkräfte am Einsatzort, die in ihren Aufgaben möglichst wenig gestört werden wollen. Deshalb muss die Eingabe schnell und anwendungsfreundlich sein. Das Informationserfassungsterminal sollte leicht, robust und autark sein. Des Weiteren muss die Bedienung auch mit Handschuhen möglich sein, da die Einsatzkräfte verpflichtet sind, Schutzhandschuhe während des Einsatzes zu tragen.

Kartenmaterial wird bei der sogenannten „relativen Eingabe“ von georeferenzierter Information benötigt, da sie relativ zu Orientierungspunkten auf der Karte erfolgt. Sie ist besonders attraktiv, da Eingabefehler dadurch vermieden werden oder leicht zu korrigieren sind. Dennoch ist diese Erfassung flexibel wie die indirekte Eingabe. Auch die Eingabe von Flächen ist vereinfacht. Von Vorteil ist es, wenn die Karte bereits georeferenziert ist, so dass jede Position auf der Karte einer eindeutigen Koordinate zugewiesen

werden kann, wie es bei einem Geoinformationssystem der Fall ist. Diese Art von Eingabe ist für die menschliche Erfassung in Führungsstellen besonders geeignet, wo große Bildschirme aufgestellt werden können. Kombiniert mit einer Eingabe über einen taktilen Bildschirm ist sie intuitiv. Am Einsatzort ist sie sinnvoll, sofern der Bildschirm auf dem tragbaren Computer groß genug ist. Da dies meistens nicht der Fall ist und einen Konflikt mit den Anforderungen eines relativ leichten und robusten Handgeräts darstellt, sollte vor Ort eine direkte Eingabe bevorzugt werden.

Ortungsrelevante, von Menschen erfasste Information kann entweder von Einsatzkräften oder von Augenzeugen stammen. Die Erfassung der Information von Augenzeugen ist schwierig, da sie meistens unstrukturiert erfolgt. Außerdem kann durch post-traumatische Faktoren die Zuverlässigkeit der Aussagen vermindert sein. Nichtsdestotrotz liefern Augenzeugen wertvolle Hinweise, die die Suche beschleunigen können. Aus diesem Grund sollte ein standardisiertes Formular die Erfassung von Informationen von Augenzeugen ermöglichen. Ein elektronisches Formular birgt den Vorteil, dass Informationen direkt weiter verarbeitet werden können.

### **Technische Datenerfassung**

Anders als bei der menschlichen Informationserfassung bedarf es bei der technischen Datenerfassung prinzipiell keines Umwandlungsprozesses von Sinneswahrnehmungen, da die Informationen in einer Form vorliegen, die maschinell verarbeitbar sind. Die Daten liegen jedoch oftmals in Datenspeichern vor, die in andere übertragen werden müssen. Wie es im Fusionsprozess in Abschnitt 4.2.4 beschrieben wird, sollten alle Informationen in einer zentralen Datenbank erfasst werden, um die maschinelle Verarbeitung von Information zu gewährleisten. Hierzu bedarf es bei der technischen Datenerfassung Schnittstellen. Sie stellen die Kohärenz in den Datenformaten sicher.

Auch wenn prinzipiell die Messergebnisse direkt an das IT-System übertragen werden könnten, so hat die menschliche Eingabe der Messergebnisse den Vorteil, dass Messergebnisse vorab evaluiert werden. Diese Evaluation kann nicht erfassbare Faktoren berücksichtigen. Gleichzeitig hängt der Vorteil der menschlichen Erfassung von Messergebnissen von der Qualität der Evaluation ab. Prinzipiell sollten jedoch immer alle Messergebnisse mit ihrer Evaluation erfasst werden. Das Festhalten der Evaluation der Messergebnisse durch die Einsatzkraft ermöglicht Schlussfolgerungen im Nachhinein nachzuvollziehen.

### **4.2.3 Anwendungsfall Verarbeitung ortungsrelevanter Daten ohne Fusion**

Während eines Ortungseinsatzes werden vielerlei Daten verarbeitet. Im Folgenden wird die Signalverarbeitung, die Lokalisierung und die Erkennung des Kontextes und der Aktivität von Einsatzkräften vorgestellt. Der Anwendungsfall Fusion von Ortungsergebnissen wird gesondert im Abschnitt 4.2.4 dargestellt. Zum einen, weil ihr bei einem Ortungseinsatz eine besondere Bedeutung zukommt und zum anderen, da sie optional die Datenverarbeitung erweitert, wie es Abb. 4.8 zeigt.

### Signalverarbeitung

Die im folgenden Abschnitt 4.2.4 präsentierte Fusion von Ortungsergebnissen von heterogenen Ortungsmethoden stützt sich auf die Signalverarbeitung. Mit Signalverarbeitung sind Methoden gemeint, die ausschließlich die Daten einer einzelnen Messung verarbeiten. Das empfangene elektromagnetische Signal einer Messung mit einem Radarsystem kann beispielsweise nicht unmittelbar im Fusionsprozess mit anderen Ortungsergebnissen verarbeitet werden. Es bedarf der Signalverarbeitung, um den Einfluss von Rauschen zu verringern und das Signal so aufzubereiten, dass es für eine einfache Interpretation der Messergebnisse zugänglich ist.

Falls die Rohdaten einer Messung direkt zu einer zentralen Anwendung des IT-Systems übermittelt werden, so kann dort die Signalverarbeitung stattfinden. Oftmals ist die Verarbeitung hingegen in der technischen Ortungsmethode integriert. Der Grund liegt in der gewünschten Robustheit von Ortungstechnologien. Sie sollen als eigenständige Gerätschaften dem Anwender eine einfache Interpretation von Messdaten ermöglichen ohne ein weiteres System zu erfordern. Es ist das Ergebnis dieser Interpretation, das der Informationsfusion als Grundlage dient.

### Lokalisierung

Bei der Lokalisierung handelt es sich nicht um die Ortung von Verschütteten, sondern um die Bestimmung der Position von mobilen Einheiten. Deren Lokalisierung erlaubt es den Ort einer Informationsgewinnung festzuhalten. Es gilt die Information mit einer Position und einem Zeitstempel zu vereinen. Bei Ortungsmethoden, die die Position eines Verschütteten im dreidimensionalen Raum nicht genau messen, also Detektionsmethoden oder Lokalisierungsmethoden mit einer unvollständigen Positionsangabe (s. Abschnitte 3.2.3 und 3.2.4 auf S. 30 ff.), muss die Position der Suchmethode neben dem Ergebnis festgehalten werden, um Rückschlüsse auf die Position des Verschütteten zu ermöglichen (s. hierzu beispielhaft [95]).

Es gilt zu unterscheiden, ob eine Ortungsmethode über eine automatische Lokalisierung verfügt oder nicht. Ein Erkundungsroboter beispielsweise, der zur Ortung von Verschütteten eingesetzt wird, verfügt üblicherweise über eine integrierte Lokalisierungseinheit. Dem sogenannten Bioradar hingegen fehlt eine solche Einheit. Es bedarf eines zusätzlichen Systems, damit die Position und Orientierung der Antenne des Radarsystems erfasst werden kann. Dies ist wichtig um Rückschlüsse auf die Position des Verschütteten im Schutthaufen zu erlauben. Die Erfassung eines Ortungsergebnisses einer Ortungsmethode ohne Lokalisierungseinheit durch eine Einsatzkraft kann entweder *relativ* zu Orientierungspunkten, *direkt* oder *indirekt* festgehalten werden (s. für Definitionen Abschnitt 4.2.2).

Es gibt verschiedene Arten von Lokalisierungssystemen, die für die *direkte* oder *indirekte* Eingabe der Position eingesetzt werden könnten. Sie können dadurch unterschieden werden, ob sie Infrastruktur benötigen oder nicht. Stützt sich das Lokalisierungssystem auf eine Infrastruktur, so sind Infrastrukturen zu wählen, die entweder durch Katastrophen nicht beeinträchtigt werden können, wie beispielsweise das GPS, oder wenig Aufwand für die Installation benötigen. Infrastrukturlose Lokalisierungssysteme, wie sie Zhang et al. vorschlagen [198], haben Vorteile, die bereits im Stand der Technik diskutiert wurden (s. S. 16 f.).

### Erkennung von Kontext und Aktivität

Ein Ortungseinsatz erfordert einen richtigen Umgang mit redundanten Informationen. Mehrere Ortungsbefunde zum selben Verschütteten ermöglichen eine höhere Genauigkeit bei seiner Positionsschätzung und eine genauere Wahrscheinlichkeit bezüglich seiner Existenz. Ihre Redundanz ist deshalb erwünscht. Werden hingegen Informationen zu nicht eindeutig identifizierten Betroffenen redundant erfasst, die Verwirrung bei der Schätzung der Anzahl von Betroffenen stiftet, so sind diese unerwünscht. Bei einem verteilten System, bei dem die Lage des Einsatzes durch mehrere Personen und Roboter gleichzeitig erfasst werden kann, muss bei der Erfassung von neuer Information die bereits erfasste berücksichtigt werden, um Redundanzen zu vermeiden. Dies wird unter der Erkennung des Kontextes verstanden, in dem eine Information erfasst wird. Hierzu kann ein elektronisches Formular vorgesehen, das alle bereits erfassten Informationen von Augenzeugen darstellt. Diese Veranschaulichung ermöglicht dem Autor seine Information vorab zu validieren. Bevor Informationen von Augenzeugen redundant erfasst werden, kann man somit die Redundanz erkennen. Ein weiterer Vorteil dieser Aufbereitung ist die Möglichkeit, bereits erfasste Information zu korrigieren oder zu ergänzen. Ist beispielsweise ein erster Augenzeuge nicht in der Lage, den Verschütteten zu identifizieren, könnte ein Zweiter die Identifikation vervollständigen.

Die digitale Erfassung der Details zu gefundenen Personen muss genauso funktionieren. Personen müssen als gefunden festgehalten werden, die als vermisst galten, wobei Redundanzen zu vermeiden sind. Hierzu sollte das Formular zur Erfassung eines unbekanntes Geretteten oder eines Augenzeugens, der protokollierenden Einsatzkraft die Möglichkeit bieten, alle noch vermissten Personen schnell einzugrenzen und einzusehen. Die hierzu hilfreiche Funktion „Vorschlagssuche“ (engl. „Incremental Search“) sollte hierzu nicht nur die Eingabe in einem Feld eines Formulars berücksichtigen, sondern mehrere gleichzeitig. Die Verkleinerung der Anzahl möglicher Zuordnungen eines unbekanntes Opfers zu bekannten Vermissten könnte beispielsweise die Attribute Alter, Geschlecht und Größe gleichermaßen berücksichtigen. Dies ist wichtig um Redundanzen zu vermeiden, da die Anzahl der noch Vermissten den Verlauf des Ortungseinsatzes beeinflussen. Dem Autor sollten zwei Möglichkeiten zur Verfügung stehen: entweder aus dieser Liste noch vermisster Personen auswählen oder eine bisher unbekanntes vermisste Person als gefunden melden.

Die automatische Erkennung von Aktivität kann helfen, gefährdete Einsatzkräfte zu erkennen. Bei der Erkennung von Gefährdungen sind zwei Funktionen zu unterscheiden. Die Erste ist die sogenannte „Totmannfunktion“, die die Bewegungslosigkeit einer Einsatzkraft detektiert. Falls diese bewegungslos ist, wird davon ausgegangen, dass sie sich in einer lebensbedrohlichen Situation befindet. Die zweite Funktion basiert auf der Fusion von Informationen über die Gefahrenzonen und die Positionen der Einsatzkräfte und wird „Gefährdungsalarm“ genannt. Sie wurde im Rahmen dieser Arbeit konzipiert. Es handelt sich dabei um die automatische Erkennung einer hypothetischen Gefährdung einer Einsatzkraft, falls diese sich in einer Gefahrenzone aufhält. Ist dies der Fall und verfügt die Einsatzkraft über keine explizite Freigabe diese zu betreten, unterstützt eine automatische Warnung die Führungsstelle sowie die Einsatzkraft bei der Wahrnehmung der gefährlichen Situation.

**Kartographie** Die Kartographie ist für die *relative Eingabe* (s. S. 66), die Orientierung am Einsatzort und die Einschätzung der Lage essentiell. Das Kartenmaterial muss Orientierungspunkte aufweisen, die für die Einsatzkräfte leicht erkennbar sind. Falls ein Unglück die Umgebung derart verändert hat, dass das existierende Kartenmaterial obsolet ist, so muss eine neue Karte erstellt werden. Falls der Unglücksort derart homogen ist, dass keine Orientierung mehr möglich ist, so müssen künstliche Orientierungspunkte am Einsatzort aufgestellt werden, die eine Orientierung ermöglichen.

Bei der Anwendung eines Geoinformationssystem zur Entscheidungsunterstützung ist es notwendig, dass die digitalen Karten georeferenziert sind. Eine weitere Möglichkeit der Kartenerzeugung besteht in der Integration von Systemen, die Luftaufnahmen ermöglichen, wie beispielsweise Flugobjekten [90, 129, 161, 164]. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Aufnahmen den Anforderung zur Integration in einem Geoinformationssystem genügen (s. hierzu beispielsweise die GeoTIFF Spezifikationen [163]).

#### 4.2.4 Anwendungsfall Fusion von Information

Die Aufbereitung von Information aus multiplen Quellen kann zu einer Vermeidung von redundanten Informationen oder für die Entscheidungsunterstützung genutzt werden. Im weiteren Text wird auf verschiedene Aspekte eingegangen, die sich unter der in dieser Arbeit gewählten Definition nach *Dubois* und *Prade* von Informationsfusion fassen lassen [72].

Informationsfusion ist ihnen zufolge „... die Zusammenführung und gemeinsame Auswertung mehrerer Informationsquellen, um relevante Fragestellungen beantworten und richtige Entscheidungen treffen zu können“<sup>8</sup>.

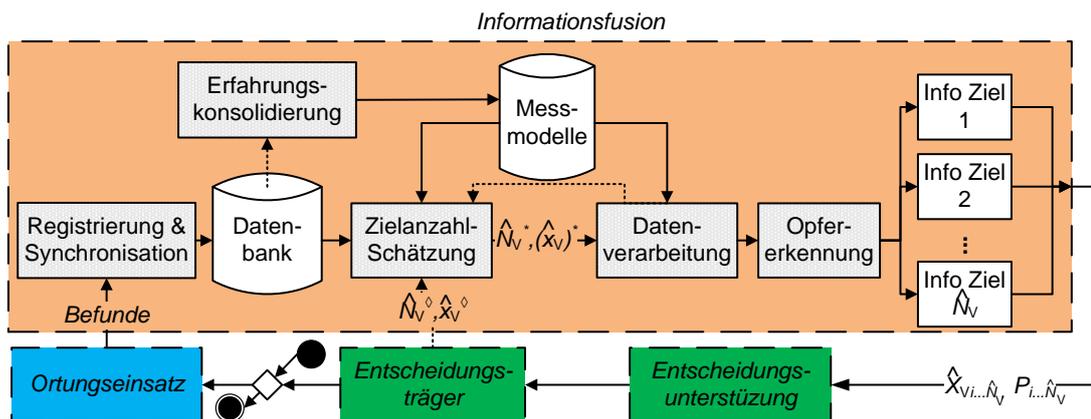
Im Folgenden wird der Fusionsprozess detailliert beschrieben. Es folgt die Beschreibung des Zieles der Informationsfusion. Vorgestellt werden anschließend zwei prinzipiell verschiedene Typen von Verarbeitungsmethoden. Aus diesen Beschreibungen können die Anforderungen an die Informationsfusionsmethoden abgeleitet werden.

#### Fusionsprozess

Die folgende Prozessbeschreibung fokussiert sich auf die Fusion von Informationen und stellt ebenfalls den Zusammenhang mit dem Ortungseinsatz und dem Entscheidungsträger dar (s. Abb. 4.9). Der Entscheidungsträger spielt eine besondere Rolle, da er der Nutzer der Ergebnisse der Informationsfusion ist, den Fusionsprozess und den Einsatzablauf durch seine Vorgaben oder Anweisungen beeinflussen kann oder den Einsatz und somit auch den Fusionsprozess beenden kann.

Bei der Ortung einer unbekannt Anzahl  $N_V$  von Verschütteten, werden Ergebnisse der Ortungsmaßnahmen, das heißt der Ortungsbefund mit gegebenenfalls der Position  $x_V$  des gefundenen Verschütteten, in Datenspeichern festgehalten. Jede technische Ortungsmethode hat einen Datenspeicher mit einem eigenen Format, wie es in Abb. 3.2 auf S. 27 dargestellt ist. Die fehlende Standardisierung bei der Angabe der Ortungsergebnisse erschwert die Verarbeitung. Sollen die Messergebnisse beispielsweise zentralisiert dargestellt werden, so ist ein einheitliches Format förderlich. Hierfür ist es unter anderem von Bedeutung, dass die unterschiedlichen Informationsquellen ein gleiches

<sup>8</sup>Der Text ist aus dem Englischen übersetzt.



**Abb. 4.9:** Der Prozess der Informationsfusion für Ortungseinsätze besteht aus: der Erfassung von verteilter Information über Ziele aus unterschiedlichen Informationsquellen; der Registrierung & Synchronisation; der Speicherung in einer zentralen Datenbank; der Schätzung der Zielanzahl; der Verarbeitung aller Informationen; sowie der Opfererkennung. Das Ergebnis der automatischen Opfererkennung unterstützt Entscheidungen bei der Suche. Die Verarbeitung kann optional auch unter Hypothesen vom Entscheidungsträger bezüglich der Anzahl der Opfer und deren Positionen erfolgen. Gepunktete Pfeile sind optionale Prozessflüsse.

räumliches Koordinatensystem benutzen. Falls dem nicht so ist, müssen entweder vorab die unterschiedlichen Koordinatensysteme angeglichen werden oder eine Transformation vom einen zum anderen Koordinatensystem muss erfolgen. Dieser Vorgang wird als sogenannte „Registrierung“ bezeichnet. Der zeitliche Abgleich ist die sogenannte „Synchronisation“. Beide Schritte sind notwendig, bevor die Information in einer zentralen Datenbank abgespeichert werden kann.

Nachdem die Information zentral in einer *Datenbank* abgelegt wurde, gilt es die unbekannte Anzahl von Verschütteten  $N_V$  zu schätzen und die Messungen  $x_M$  anhand dieser *Zielanzahl-Schätzung*  $\hat{N}_V^*$  zu verarbeiten. Bei diesem Prozess kann optional eine initiale Hypothese initialisiert werden, deren Position  $\hat{x}_V^*$  die Verarbeitung ermöglicht. Die Vorgehensweise bei der *Datenverarbeitung* hängt von ihrem Typ ab, dessen Unterschiede auf S. 73 erläutert werden. Die *Zielanzahl-Schätzung* und die *Datenverarbeitung* können sich auf *Messmodelle* stützen, wobei sich die *Datenverarbeitung* auf eine Rückkopplung mit der *Zielanzahl-Schätzung* stützen kann. Der Entscheidungsträger kann optional Hypothesen bezüglich der Zielanzahl  $\hat{N}_V^\diamond$  und der geschätzten Positionen  $\hat{x}_V^\diamond$  in den Informationsfusionsprozess einfließen lassen, um verschiedene Alternativen zu generieren und die auszuwählen, die ihm am plausibelsten erscheint.

Die theoretisch mögliche Anzahl von Assoziationen steigt sehr schnell mit der Anzahl von Befunden an. Aus diesem Grund sind Methoden wichtig, die Assoziationen möglichst effizient aus den erfassten Befunden ermitteln. Dabei muss es die *Datenverarbeitung* ermöglichen, multiple Assoziationshypothesen zu kreieren, zurückzuziehen, zu evaluieren und vor allem die plausibelste auszuwählen ([98], S. 78 ff.). Alle möglichen Assoziationen werden in einer sogenannten „Assoziationsmatrix“  $\Omega$  festgehalten, deren Dimension von der geschätzten Anzahl der Ziele  $\hat{N}_V$  und der Anzahl der Befunde  $N_M$  abhängt. Die plausibelste Assoziationshypothese ist eine aus dieser Menge  $\Omega$  aller möglichen Assoziationen.

Nicht nur positive Ortungsergebnisse sondern auch negative sollten assoziiert wer-

den. Ihre Berücksichtigung im Informationsfusionsprozess kann von Vorteil sein, wie es beispielsweise Koch et al. zeigen [114].

Neu erlangte Erkenntnisse oder Hypothesen während eines Ortungseinsatzes müssen im Informationsfusionsprozess berücksichtigt werden, damit die Wahrscheinlichkeit  $P$  der Präsenz eines Verschütteten und deren Position neu evaluiert werden können. Aus diesem Grund wird der Prozess der Informationsfusion als geschlossener Kreislauf dargestellt.

Bei der *Opfererkennung* handelt es sich um die Beurteilung, ob trotz ungewisser Informationslage ( $P < 1$ ) von einem Opfer ausgegangen werden kann. Wird beispielhaft eine Positionshypothese  $\hat{x}_V$  mit dem Eingang neuer Informationen unwahrscheinlich, so ist diese zurückzuziehen. Wird diese jedoch ausreichend bestärkt, so sollte die Präsenz eines Verschütteten am Ort  $\hat{x}_V$  als wahrscheinlich gekennzeichnet werden. Die Schwierigkeit besteht in der Wahl des Schwellwerts, bei dessen Überschreitung das Fusionsergebnis „ausreichend“ wahrscheinlich ist, um eine Schlussfolgerung zu treffen.

Neben der Position  $\hat{x}_V$  und der Wahrscheinlichkeit  $P$  eines Verschütteten sollte, soweit möglich, sein Gesundheitszustand möglichst genau ermittelt werden. Der Gesundheitszustand ist wichtig, da er gegebenenfalls eine Priorisierung der Rettungsmaßnahmen ermöglicht.

Die *Erfahrungskonsolidierung* ermöglicht es im Nachhinein die Messmodelle und die Parameter von Fusionsmethoden zu verbessern. Dies geschieht durch einen Abgleich zwischen ungewissen Ortungsbefunden und gefundenen Zielpositionen  $x_V$ . Diese Verarbeitung kann noch während des Einsatzes oder danach erfolgen.

## Ziel und Evaluation der Informationsfusion

Das Ziel der Informationsfusion in einer Mehrzielumgebung (Anzahl Ziele  $N_V > 1$ ) ist es, den Abstand zwischen den geschätzten Zielpositionen und den korrekten zu minimieren.

Ein übliches Maß für die Positionsgenauigkeit in einer Mehrzielumgebung ist der sogenannte „Minimum Mean Squared Error“ (MMSE)<sup>9</sup> [27]. Dieses Maß unterscheidet sich vom gemittelten quadratischen Fehler (RMSE) insofern, dass die üblicherweise bekannte Zuordnung zwischen geschätzten und wahrhaftigen Wert erst ermittelt werden muss. Das Ergebnis der Fusion von Informationen sind geschätzte Zielpositionen  $\hat{x}_{V_i}$ . Um den MMSE in Anwendungsfall Fusion von Ortungsbefunden bestimmen zu können, muss die Zuordnung zwischen geschätzten Zielpositionen  $\hat{x}_{V_i}$  und korrekten  $x_{V_j}$  bestimmt werden. Die Zuordnung kann in einer Matrix  $\Omega_{ij}$  festgehalten werden. Sie kann unterschiedliche Bedingungen erfüllen. Eine mögliche Bedingung ist, dass jede geschätzte Zielposition nur einer korrekten Position zugeordnet werden kann, wie es in folgender Bedingung zum Ausdruck kommt:

$$\sum_i \Omega_{ij} = 1 \quad \forall j \quad \wedge \quad \sum_j \Omega_{ij} = 1 \quad \forall i \quad \wedge \quad \Omega_{ij} \in \{0; 1\} \quad \forall i, j \quad (4.1)$$

Das Zuordnungsproblem, das die Bedingung 4.1 erfüllt und die Kosten  $C_{ij}$  minimiert (s. Gl. 4.3), kann mit der ungarischen Methode (s. [117]) gelöst werden.

<sup>9</sup>deutsch: minimal, gemittelter, quadratischer Fehler.

$$C_{ij} = \|\hat{x}_{vi} - x_{vj}\|^2 \quad (4.2)$$

$$\Omega_{ij}^* = \arg \min \sum_i \sum_j \Omega_{ij} C_{ij} \quad (4.3)$$

Der MMSE wird mit bekannter, minimaler Zuordnung  $\Omega_{ij}^*$  folgendermaßen bestimmt:

$$\text{MMSE} = \frac{1}{N_V} \sqrt{\sum_j \left( \sum_i \Omega_{ij}^* C_{ij} \right)} \quad (4.4)$$

### Typen der Datenverarbeitung

Im Folgenden sollen zwei verschiedene Prinzipien der Datenverarbeitung vorgestellt werden, die sich für die Fusion von Informationen bei einem Ortungseinsatz eignen. Unter den Begriff Messungen werden im Folgenden alle Beobachtungen gemeint, seien sie von Menschen, Hunden oder von technischen Gerätschaften generiert, die bei einem Ortungsprozess Hinweise auf den Verbleib von Verschütteten geben. Nochmals hervorzuheben ist, dass die Position von zu ortenden Verschütteten, das heißt der Zustand, als statisch angesehen werden kann. Der Informationserfassungsprozess während eines Einsatzes ist hingegen dynamisch. Nach und nach werden Ortungsbefunde erfasst.

Das erste Prinzip berücksichtigt jede neue Messung, um eine Zustandsschätzung zu aktualisieren. Da es bei einem Ortungseinsatz mehr als einen Verschütteten geben kann, so kann es mehrere Positionshypothesen geben. Fundamental für dieses Prinzip ist deshalb die Initialisierung und Verwaltung dieser Hypothesen sowie die Assoziation von Messungen mit der richtigen geschätzten Position eines Verschütteten, die mit der Messung aktualisiert werden soll. Ist die Rauschverteilung bekannt, kann die statistische Messungenauigkeit verringert werden.

Das zweite Prinzip geht anders mit den Messungen um. Anstatt sequenziell jede neue Messung zu berücksichtigen, werden alle vorangegangenen sowie die neue Messung ohne Berücksichtigung ihrer zeitlichen Reihenfolge verarbeitet. Diese Verarbeitung wird bei jedem Eingang einer neuen Messung wiederholt. Bei ausreichend vielen Messungen sowohl mit positivem als auch mit negativen Ergebnissen können über die räumlichen Verteilung von dieser Ergebnisse Muster erkannt werden, die Rückschlüsse über Anzahl und Position von Verschütteten ermöglichen. Bei diesem zweiten Prinzip werden Messungen mit Messungen assoziiert, wie es beispielsweise bei dem sogenannten „k-means“-Verfahren (s. [34, 101]) der Fall ist.

Bei beiden Datenverarbeitungsprinzipien kann eine Messung entweder eindeutig oder nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit einem Muster oder einer Positionshypothese zugeordnet werden. Man spricht bei einer uneindeutigen von einer „harten“ und bei einer durch Wahrscheinlichkeit bedingten von einer „weichen“ Assoziation.

Beim Anwendungsfall „Ortungseinsatz“ erscheint eine Mustererkennungsmethode geeigneter zu sein, obwohl die Erfassung dem zeitlichen Prozess der Suche folgt. Der zeitliche Charakter der Suche und somit die Reihenfolge der Erfassung von neuen Messungen hat jedoch keine Aussagekraft bezüglich des Verbleibs von Verschütteten. Die

Verschütteten und somit auch deren Zustand sind nämlich als statisch anzusehen, solange sie nicht gefunden worden sind.

### Anforderungen an die Informationsfusionsmethoden

Aus den vorangegangenen Betrachtungen werden Anforderungen deutlich, die Fusionsmethoden erfüllen müssen, um im Anwendungsfall „Ortungseinsatz in Trümmern“ sinnvoll einsetzbar zu sein.

Fusionsmethoden müssen sowohl ein als auch mehrere Ziele erkennen. Dabei kann nicht vorausgesetzt werden, dass die Anzahl der vermeintlichen Ziele bekannt ist. Eine Schätzung der Anzahl der Verschütteten muss durch die Methode gewährleistet sein.

Es sollen Informationsfusionsmethoden geschaffen werden, die nicht nur akkurate geschätzte Verschüttetenpositionen liefern, sondern von den Entscheidungsträgern auch akzeptiert werden. Die Akzeptanz der Fusionsmethoden bei den Entscheidungsträgern ist gefährdet, falls unerwartete Ergebnisse produziert werden. Dies könnte beispielsweise geschehen, wenn geschätzte Verschüttetenpositionen nach einer erneuten Verarbeitung nach Erlangen neuer Messungen ohne Hinweise oder Warnungen willkürlich springen. Wenn der Nutzer neue Hypothesen in den Informationsfusionsprozess einfließen lässt, kann dies ebenfalls zum Springen von geschätzten Opferpositionen führen. Dieses Springen von geschätzten Verschüttetenpositionen könnte den Entscheidungsträger verunsichern. Aus diesem Grund ist vor dem Springen von geschätzten Verschüttetenpositionen eine Warnung wichtig, die den Entscheidungsträger unterstützt, das unerwartete Springen zu verstehen.

Auch ist eine Funktionalität sinnvoll, die es dem Anwender erlaubt einen vergangenen Informationsstand wiederaufzurufen und neu zu bewerten. Dies ist beispielsweise erforderlich, wenn dem Entscheidungsträger neue Informationen vorliegen, die eine Neubewertung der Plausibilität eines Ortungsergebnisses nach sich ziehen.

Die Fusionsmethode muss Messungen verarbeiten können, die von heterogenen Methoden erzeugt worden sind. Dabei gilt es drei verschiedene Fusionstypen zu unterscheiden. Diese Unterscheidung folgt den Definitionen von *Durrant-Whyte* zum Informationsfusionsprozess [73].

Man spricht von „kooperativer Fusion“, wenn Ortungsergebnisse genutzt werden, um die weitere Suche zu lenken, jedoch nicht in die weitere Schätzung des Zustands eingehen. Im Folgenden soll dieser Typ der Fusion am Beispiel der Hundeortung erklärt werden. Der Ort, an dem ein Hund einen Verschütteten wittert, bestimmt die Stelle, wo eine technische Ortung initiiert werden soll. Das Ergebnis der technischen Ortung wird anschließend genutzt, um die Position des Verschütteten zu schätzen. Das Ergebnis der vorangegangenen Hundeortung wird bei der Positionsschätzung jedoch nicht berücksichtigt. Die kooperative Fusion braucht keine maschinelle Unterstützung, da sie in der Entscheidung der Allokation von Ressourcen einfließt und somit eher einen Handlungsvorschlag darstellt.

Eine redundante Fusion hat zum Ziel zufällige Fehler zu minimieren. Sie verarbeitet vergleichbare Daten. Die Mittlung über eine Vielzahl von Positionsschätzungen ist beispielsweise eine redundante Fusion. Sie ermöglicht das Vertrauensintervall um die gemittelte Positionsschätzung zu verkleinern.

Ist hingegen die Information nur teilweise aussagekräftig, wie beispielsweise eine Entfernungsmessung, so können mehrere Messungen von verschiedenen Standpunk-

ten aus „komplementär“ fusioniert werden, um die Position zu berechnen. Triangulation ist beispielsweise eine komplementäre Fusionsmethode. Informationen, die keine ähnlichen Aussagen zulassen, können ebenfalls komplementär fusioniert werden, um ein vollständiges Bild zu erhalten.

Fusionsalgorithmen für die Schätzung von Verschüttetenpositionen sollten alle drei Typen der Fusion ermöglichen, um die heterogene Befunde bei einem Ortungseinsatz verarbeiten zu können und den Entscheidungsträger effektiv zu unterstützen.

Aus der Vorgehensweise der biologischen Ortung wird ersichtlich, dass bei der Suche nach Verschütteten zwei ungewisse positive Ortungsbefunde ausreichen können, um Bergungsmaßnahmen einzuleiten. Nach den Ausbildungsunterlagen des THW kommen technische Ortungsgeräte – falls verfügbar – erst nach der biologischen Ortung zum Einsatz. Die technische Ortung dient der Bestätigung biologischer Ortungsbefunde sowie der genaueren Lokalisierung ([173], S. 41). Daraus ergibt sich die Anforderung, dass die Informationsfusion bei einer geringen Anzahl von Informationen pro Verschüttetem funktionieren muss.

Bei einem Gebäudeeinsturz ist zu erwarten, dass Verschüttete relativ nahe beieinander liegen. Deshalb sollten die Methoden auch bei einer hohen örtlichen Dichte an Verschütteten Ortungsbefunde richtig verarbeiten. Dies scheint jedoch nur möglich zu sein, falls zwei unterschiedliche Verteilungen festgestellt (s. Methode in [87]) werden können oder Merkmale der Verschütteten differenziert werden können. Die Schätzung der Anzahl von Verschütteten ist für die Planung fortführender Maßnahmen wie die Rettung sicherlich hilfreich. Sie ist jedoch für die Bergung nur dann erforderlich, wenn bei einem Bergungsversuch nicht alle Verschütteten in der Umgebung der Stelle der Bergungsmaßnahmen gefunden werden können. Eine Nachortung ist aus diesem Grund ebenfalls unabdingbar, um ein Übersehen eines Verschütteten zu vermeiden.

Die Methoden müssen Positionen, Flächen und sogar Volumen assoziieren können, da positive wie negative Ortungsergebnisse aus Erkundungs- sowie Ortungsmaßnahmen zu verarbeiten sind. Ergebnisse aus Erkundungs- und Ortungsmaßnahmen unterscheiden sich in der Art, wie sie angegeben werden. Es handelt sich bei den positiven Befunden entweder um Positionen, die Messergebnisse indirekter Ortungsmethoden sind oder aber bei den Ausschlag-Messmethoden um die Positionen der Messapparatur und nicht des Ziels. Negative Befunde von Erkundungsmaßnahmen werden über das Ausmaß einer Fläche oder eines Volumens erfasst, das erfolglos abgesucht worden ist. Hingegen werden negative Befunde von Ortungsmaßnahmen mit einer Position und einem erfassten Messbereich angegeben.

Bei der Opfererkennung und der Verarbeitung von Informationen können multiple Hypothesen anfallen. Deren Verwaltung erfolgt entweder automatisch, wie beispielsweise beim „Multi-Hypothesen-Tracker“ (s. [182], S. 218), oder kann durch den Entscheidungsträger selbst vorgenommen werden. Bei beiden gilt es, mehrere Lösungsmöglichkeiten auf ihre Glaubwürdigkeit zu evaluieren. Die Methode oder der Entscheidungsträger muss somit in der Lage sein, Hypothesen zu initiieren, zurückzuziehen und zu evaluieren.

Während eines Ortungseinsatz sind Ausreißer von wahren Befunden nicht zu unterscheiden, ohne die Position der Verschütteten zu kennen. Unter Berücksichtigung anderer Messungen können Ausreißer womöglich erkannt werden, Gewissheit gibt es jedoch nicht, solange der Zustand unbekannt bleibt. Deshalb gilt jeder positive Ortungsbefund erst einmal als Initiator oder aber als eine Bestätigung einer vermuteten Verschütteten-

position. Die Frage ist, ob diese mit weiteren Ortungsmaßnahmen bestätigt werden kann oder verworfen wird. Dies erfordert wiederum eine sichere Informationsfusionsmethode von positiven wie negativen Ortungsergebnissen.

Ein besonderes Merkmal des Anwendungsszenarios ist die dynamische Erfassung von Informationen, wie im Beispiel 3.1 auf S. 24 dargestellt. Da sich Verschüttete meistens nicht oder bestenfalls nur beschränkt bewegen können, können die Ziele als statisch betrachtet werden. Die Erfassung erfolgt jedoch kontinuierlich. Die Ortungsmaßnahmen können Positionen ergeben, die nicht unbedingt auf ein vordefiniertes Areal beschränkt sind. Die zeitliche Reihenfolge des Suchvorgangs ist nicht festgelegt, so dass die Reihenfolge, in der Informationen erfasst werden, das Ergebnis der Informationsfusion nicht beeinflussen sollte.

Ein Vorteil bei der Opfererkennung ist, wenn ein quantitativer Ausdruck der Assoziationskohärenz auf Widersprüche in der Informationslage hinweist (s. [143, 175]. Insbesondere in einem Ortungseinsatz kann es dazu kommen, dass sich assoziierte Ortungsbefunde widersprechen. Einige Ortungsmethoden schlagen an, andere wiederum nicht. Die Gründe bleiben jedoch dem Anwender unerklärlich. Bei nahe beieinander liegenden Zielen können Ortungsergebnisse auf unterschiedlichen Attributen des Verschütteten basieren. Ein bewusstloses Opfer kann nahe bei einem toten Opfer liegen. Ein quantitativer Ausdruck der Assoziationskohärenz stellt für den Anwender ein Vorteil dar, wenn er über das Einleiten von Bergungsmaßnahmen entscheidet.

#### 4.2.5 Anwendungsfall Unterstützung des Entscheidungsprozesses

Die Unterstützung des Entscheidungsprozesses basiert auf der Erfassung und der Fusion von Information. Sie ist mit der Darstellung von Information eng verwoben, da nur das was wahrgenommen wird, eine Entscheidung auch unterstützen kann. Deshalb ist die Darstellung von Information ein zentrales Element bei der Entscheidungsunterstützung. Eines der Ergebnisse der Umfrage ist, dass bei mehrtägigen Einsätzen die Einschätzung der Lage, insbesondere für bereits abgesuchte Bereiche, für unerfahrene Einsatzkräfte wie auch Experten der Ortung schwierig wird. Das lässt auf die mangelnden Möglichkeiten der Lagedarstellung schließen, wie es ebenfalls durch den *McKinsey* Bericht hervorgehoben wurde ([133], S. 11). Des Weiteren basiert die Entscheidungsunterstützung nicht nur auf der Darstellung und dem Filtern von Informationen, sondern auch auf der Konsolidierung von Erfahrung, die im Folgenden vorgestellt werden.

##### Lagedarstellung

Die Darstellung von Information bei Ortungseinsätzen ist oftmals mit Positionen verbunden. Ein Ergebnis der Umfrage war, dass die Anwender eine georeferenzierte Darstellung von taktischen Zeichen (s. hierzu [45]) bevorzugen<sup>10</sup>. Ein Nachteil der direkten Darstellung auf einer Karte ist jedoch, dass viele Informationen auf einer Position angehäuft werden kann. Dies kann ein einfaches Verständnis beeinträchtigen. Es ist deshalb unabdingbar, dem Anwender Filter zur Verfügung zu stellen, damit er durch selektives Ausblenden nicht relevanter Information die Übersicht bewahren kann. Im nächsten Abschnitt werden diese beschrieben.

<sup>10</sup>s. Umfrageergebnisse in Abschnitt 4.1.2 auf S. 54.

Eine weitere Anforderung zur Lagedarstellung ist deren Flexibilität. Eine konventionelle Darstellung basiert auf einer zweidimensionalen, horizontalen Projektion aller Information. Dies führt jedoch zu unübersichtlichen Darstellungen, wenn das Einsatzgebiet komplexere Strukturen wie etwa teilzerstörte Gebäude aufweist, wie es bereits im Abschnitt 1.2 erwähnt wurde.

Eine Lösung dieses Problems ist die Definition von mehreren Ebenen, zu denen Informationen assoziiert werden können. Eine Ortsangabe muss hierfür die dritte Raumachse in Form beispielsweise einer Identifikation der jeweiligen Ebene berücksichtigen. Bei einem Geoinformationssystem ist diese sogenannte „2D+1“ Darstellung auf horizontale Ebenen beschränkt.

Eine weitere Lösung ist die Erfassung und Darstellung im dreidimensionalen Raum, die nach *Bista et al.* vor allem unter Berücksichtigung der dynamischen Aspekte vorteilhaft ist [35]. Ein Vorteil ist die Kohärenz zwischen der Darstellung der Lage und dem realen Szenario. Im Gegensatz zu konventionellen Darstellungen erfordert solch eine Darstellung vom Nutzer kein räumliches Vorstellungsvermögen, um wie bei einer zweidimensionalen Darstellung auf die reale dreidimensionale Struktur zurückzuschließen. Einsatzkräfte haben jedoch mit dreidimensionalen Darstellungen nicht viel Erfahrung und sie ist nicht kompatibel mit konventionellen Lagedarstellungsmethoden. Auch die Verbreitung von dreidimensionaler Information durch einen Papierausdruck ist nicht zielführend, da Einsatzkräfte solche Informationen ohne angepasste Funktionen nicht interpretieren können. Dem Papiermedium fehlt es an Funktionen wie beispielsweise Rotation, Vergrößerung, Verkleinerung, Ändern der Perspektive, Querschnitt und Filtern. Diese sind jedoch für das Verstehen einer räumlichen Lagedarstellung unerlässlich.

**Verwaltung von Betroffenen** Die Verwaltung der vom Unglück Betroffenen in einer sogenannten „Bergungsliste“ ist eine zentrale Aufgabe eines Ortungseinsatzes [44]. Die Bergungsliste wird nämlich am Anfang eines Einsatzes initialisiert und bis zum Ende eines Ortungseinsatzes gepflegt. Hierbei müssen insbesondere die vermissten Betroffenen berücksichtigt werden. Das IT-System kann bei der Verwaltung der Betroffenen bisherige Formen der Verwaltung unterstützen, indem die konventionelle Liste auf Papier oder in immaterieller Form, das heißt im Bewusstsein der Einsatzkräfte, mit einer digitalen Verwaltung ergänzt wird. Es wird vorgeschlagen, vier verschiedene Listen zur Verwaltung der Vermissten zu benutzen:

1. Vermeyntlich Betroffene (Vermisste)
2. Vermeyntlich Betroffene, die ausgeschlossen werden können
3. Gefundene, aber noch nicht geborgene Betroffene
4. Gerettete

Ein vermeintlich Betroffener entspricht einer unklaren Vermutung, dass eine Person durch das Unglück betroffen ist. So lange es vermeintlich Betroffene gibt, sollte der Such- und Bergungsprozess als nicht abgeschlossen gelten. Die Liste der vermeintlich Betroffenen kann entweder nicht alle Betroffenen – da nicht alle bekannt sind –, oder genau die Anzahl der Betroffenen aufweisen oder mehr als wirklich Betroffene aufweisen. Falls jemand gefunden wird, aber noch nicht geborgen ist, so muss die Person aus der Liste der vermeintlich Betroffenen entfernt werden und der Liste der Gefundenen beigefügt werden. Wird er geborgen, so kann man ihn auf der Liste der Geborgenen verzeichnen.

Stellt sich heraus, dass der vermeintlich Betroffene de facto nicht betroffen ist, wird er der Liste nicht Betroffener zugefügt.

**Darstellung der Ergebnisse der Informationsfusion** Das Ergebnis der Analyse oder Fusion von Ortungsbefunden kann auf verschiedene Art und Weise dargestellt werden. Allein die zentrale Darstellung aller ungewissen Ortungsbefunde ist bereits eine Entscheidungsunterstützung. Von Vorteil ist jedoch, das Ergebnis der Fusion darzustellen, damit der Entscheidungsträger nicht durch unnötige Informationsflut belastet wird. Durch die Umfrage zum Entscheidungsverhalten konnte die geeignetste Darstellung ermittelt werden. Wie bereits auf S. 53 erwähnt, bevorzugten die Teilnehmer an der Umfrage die Angabe von Positionshypothesen mit qualitativer Bewertung der Gewissheit und mit einer Liste der Ortungsbefunde, auf der das Ergebnis beruht.

### Filter

Ein Geoinformationssystem muss verschiedene Arten von Filtern aufweisen, die im Folgenden beschrieben werden.

Das *Kategorien Filter* erlaubt verschiedene Kategorien von Informationen, die in semi-transparenten Ebenen dargestellt werden, optional anzuzeigen beziehungsweise zu verdecken. Die Kategorien können frei gewählt werden. In einem IT-System für die Unterstützung von Ortungseinsätzen sollten unter anderem folgende Kategorien als Filter zur Verfügung stehen:

- Ortungsmethode:
  - erfolglos abgesuchte Gebiete
  - ungewisse Sucherfolge
- Gefahren
- Schadenselemente
- Ergebnisse, Analyse oder Fusion von Ortungsbefunden
- Fundorte Vermisste
- Schadenskonten

Ein weiterer Filter bezieht sich auf den Maßstab. Je nach Maßstab werden mehr oder weniger Informationen dargestellt. So können bei starker Vergrößerung mehr Details dargestellt werden als bei schwacher, da dabei die Übersichtlichkeit beeinträchtigt werden würde.

Das sogenannte „Zeitfenster“ ermöglicht die Darstellung nach zeitlichen Aspekten zu kontrollieren. Bei mehrtägigen Einsätzen ist dieses Filter von großer Wichtigkeit, um der Fülle an Information gerecht zu werden.

Ein weiteres Filter ist das sogenannte „Schadenskontofilter“, das für taktische Aspekte in dieser Arbeit konzipiert wurde. Ein Schadenskonto oder Einsatzabschnitt ist ein nach taktischen Erfordernissen festgelegter Teil oder Aufgabenbereich einer Einsatzstelle ([88], S. 17), der eine Zuordnung nicht nur von Einheiten sondern auch von erfassten Informationen ermöglicht. Dieses Filter hat insbesondere Wichtigkeit, wenn ein Einsatz sich über ein ausgedehntes Gelände erstreckt oder die Bewältigung vieler verschiedener Aufgaben erfordert. Eine hierarchische Strukturierung der Einsatzstelle in Schadenskonten ermöglicht über das Schadenskontofilter die Lagebeurteilung zu vereinfachen.

### Konsolidierung von Erfahrung

In der Konsolidierung der Erfahrungen steckt einer der Hauptvorteile einer computergestützten Bewältigung einer Katastrophe. Mit konventionellen Einsatzprotokollen ist die Konsolidierung erschwert, da die Ortsangaben meistens auf bekannte Orientierungspunkte Bezug nehmen. Wird jedoch der Raumbezug von Information möglichst genau in einem geographischen Koordinatensystem festgehalten, so ist eine Konsolidierung möglich, da Fundorte mit Befunden assoziiert werden können. Die somit mögliche Analyse der Detektions- und Positionsgenauigkeit (s. Abschnitte 3.2.1 und 3.2.2) ist nötig, um präzise Messmodelle zu schaffen.

Das Festhalten eines realistischen und verwertbaren Datensatzes ermöglicht außerdem Informationsfusionsalgorithmen zu evaluieren und zu verbessern.

Auch durch das genaue Festhalten von taktischen Zeitstempeln und dem Eingang von Meldungen in der Führungsstelle kann eine Analyse der Verzögerung durchgeführt werden. Dies ist mit konventionellen Mitteln nicht ohne zusätzliche Belastung des Sprechfunks und der Protokollierung in der Führungsstelle möglich. Die daraus resultierende Möglichkeit Einsatzabläufe transparent zu rekonstruieren, ermöglicht zum einen viel gezieltere Planspiele für Übungszwecke zu gestalten und Haftungsfragen auszuschließen. Außerdem wird es möglich, Fehlentscheidungen vorzubeugen.

### Simulation

Die Simulation von Entscheidungen ist hilfreich, da damit deren Konsequenzen vorhergesehen werden können. So könnte der Entscheidungsträger beispielsweise eine Positionshypothese formulieren und die Simulationsfunktion würde deren Glaubwürdigkeit nach dem gegebenen Informationsstand evaluieren. Dies ist vor allem nützlich, wenn die Informationsgrundlage einer Entscheidung widersprüchlich ist [25].

Eine weitere Funktion könnte die Evaluation der Erfolgswahrscheinlichkeit sein, wenn Ortungsgruppen gezielt Schadenskonten zugeordnet werden.

Bei beiden Funktionen ist es essentiell, dass der Simulator dazu in der Lage ist, auch bei dynamischen Lagen Entscheidungen zu unterstützen ([82], S. 798).

### Planung

Die Erstellung von Suchplänen muss so gestaltet werden, dass sie die höchste Rettungswahrscheinlichkeit gewährleistet. Ein systematisches Vorgehen ist dabei nicht nur beim THW vorgeschrieben [173], sondern wurde auch durch die Einsatzkräfte in der in dieser Arbeit durchgeführten Umfrage als relevant bestätigt [6]. Der Entscheidungsträger könnte durch einen automatisch generierten Suchplan unterstützt werden, der alle relevanten Aspekte berücksichtigt.

Angelehnt an das Konzept der medizinischen Triage<sup>11</sup> kann dieser Suchplan strukturelle Triage berücksichtigen, wie sie die FEMA [83] oder die INSARAG Richtlinien vorschlagen. Hierbei handelt es sich um die Beurteilung von strukturellen Faktoren wie die

<sup>11</sup>Nach DIN 13050:2002-09 ist die Triage oder Sichtung „die ärztliche Beurteilung und Entscheidung über die Priorität der Versorgung von Patienten hinsichtlich Art und Umfang der Behandlung sowie Zeitpunkt, Art und Ziel des Transports ...“. [88]

Stabilität der Struktur, die Größe und Wahrscheinlichkeit von Hohlräumen und ihrer Zugangsmöglichkeiten, in der Verschüttete überlebt haben könnten. Auf dieser Beurteilung kann sich der Suchplan einer Einheit stützen, der die Priorität und somit die Reihenfolge der Suche von Gebieten festlegt. INSARAG schlägt des Weiteren einen sogenannten „Triage-Baum“ vor, der neben den strukturellen Faktoren folgendes berücksichtigt: Präsenz, Anzahl und Zustand der vermuteten Opfer. Bei der Erstellung des Suchplans müssen Informationen vor dem Ereignis<sup>12</sup> und während der Bewältigung gesammelt und benützt werden, um eine optimale Suche zu gestalten, wie es *Blitch* schon 1996 für multiple intervenierende unbemannte Roboter vorgeschlagen hat [37]. Die Planung der Kooperation von mehreren Sucheinheiten –insbesondere von bemannten unterstützt durch unbemannte– stellt ein aktuelles Forschungsthema dar. Optimale Suchpläne wurden im Anwendungsbereich der maritimen Suche [39], der Suche nach verschollenen Flugzeugen [19, 20] oder vermissten Wanderern [54] und Robotersystemen vorgeschlagen [51].

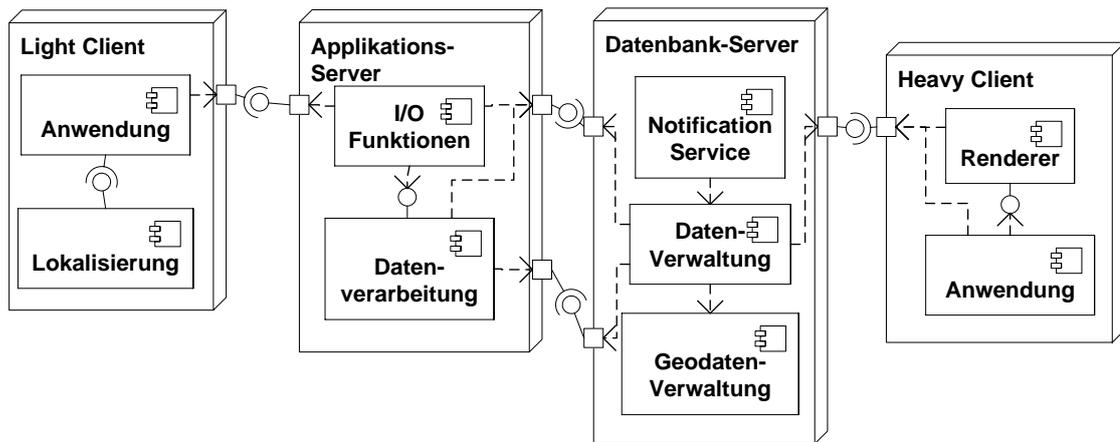
### Logistik

Die Logistik wird oft bei Großeinsätzen unterschätzt, wie sich bei der Katastrophe des Hurrikans Katrina 2006 gezeigt hat [69]. Bei einem Ortungseinsatz ist die Analyse der Diskrepanz zwischen Bedarf und Anfrage an Einsatzwert eine wichtige Frage. Die Evaluation des Bedarfs muss in Verbindung mit der aktuellen Verfügbarkeit an Ressourcen gebracht werden. *Schweier* et al. haben diesbezüglich Methoden vorgeschlagen [169], um den Bedarf an Einsatzkräften nach Zerstörung berechnen zu können. In der Erkundungsphase muss die Zerstörung erfasst werden und es muss der Einsatzwert der eintreffenden Einsatzkräfte zentral erfasst und überwacht werden. Unterstützen kann hierbei eine automatische Protokollierung der am Unglücksort tätigen Einsatzkräfte, wie sie im Demonstrator-IT-System verwirklicht wurde (s. Abb. 5.4(a)).

### 4.2.6 Komponentendiagramm

Die Geräte zur digitalen Unterstützung eines Einsatzes zeigt Abb. 4.6. Dies sind im Wesentlichen tragbare Computer, Server, Hauptrechner, Drucker sowie Antennen für die kabellose Kommunikationsinfrastruktur. Auf einem Computer können gleichzeitig verschiedene Software-Komponenten installiert sein. Das Komponentendiagramm in Abb. 4.10 zeigt die vier Hauptkomponenten eines IT-Systems für die Unterstützung eines Ortungseinsatzes. Es gibt einen Applikationsserver, der Anfragen der tragbaren Computer („Personal Digital Assistants“ (PDA) oder „Light Clients“) verarbeitet. Die Datenbank verwaltet und verarbeitet alle Informationen und informiert bei relevanten Veränderungen alle anderen sogenannten „Clients“ (s. Sequenzdiagramm 4.13). „Clients“ sind Computerprogramme, die hauptsächlich Empfänger eines Datenstroms sind. Der Hauptrechner („Heavy Client“), dient vor allem der Einsatzführung und verfügt über ein weites Spektrum an Konfigurationsmöglichkeiten. Seine Softwarekomponenten umfassen ein Programm zur Bildsynthese, den sogenannten „Renderer“, der alle Informationen aus der Datenbank in einem geeigneten Lagebild darstellt. Außerdem stehen dem Anwender verschiedene andere Funktionen zur Verfügung, die im Anwendungsfalldiagramm (s. Abb. 4.8) veranschaulicht sind.

<sup>12</sup>beispielsweise Anfrage an das Einwohnermeldeamt zur Bestimmung der vermeintlichen Opferanzahl;



**Abb. 4.10:** Komponentendiagramm eines IT-Systems zur Unterstützung eines Ortungseinsatzes.

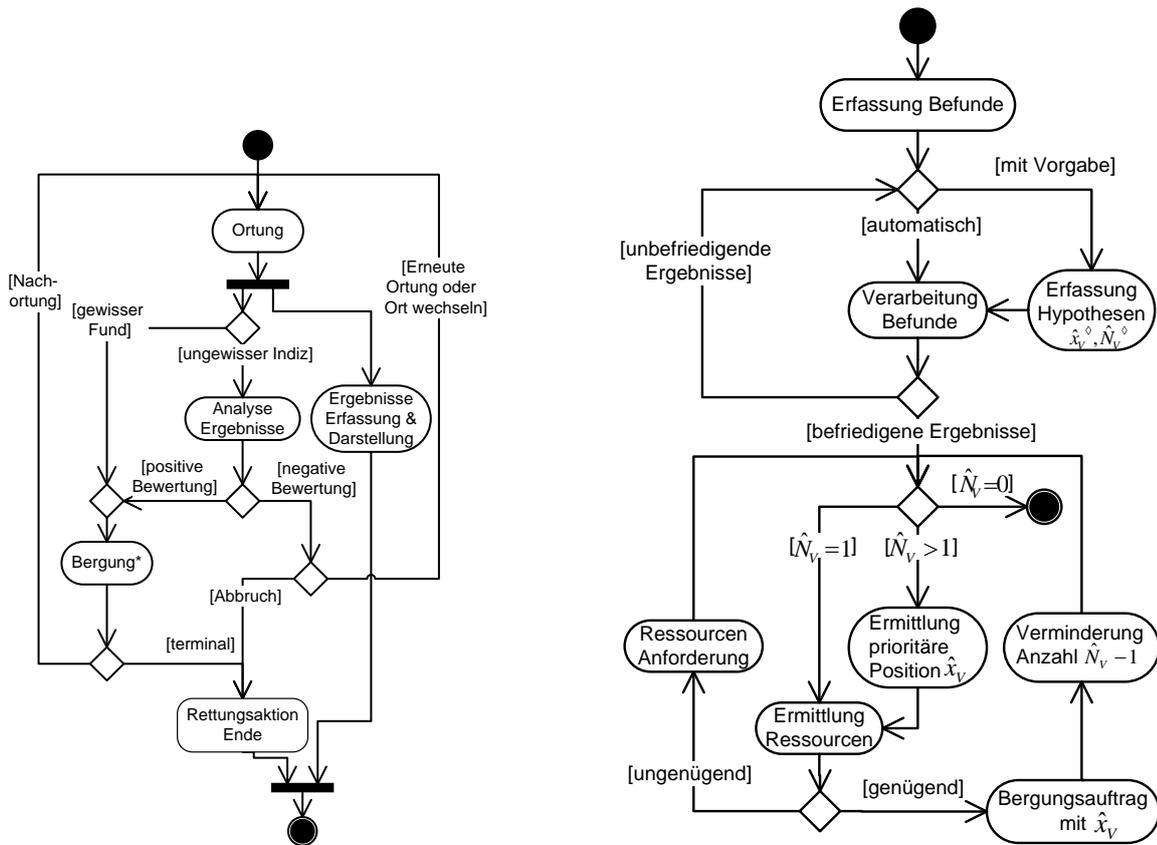
Hervorzuheben ist, dass sich dieses Komponentendiagramm an der Implementierung des Demonstrator-IT-Systems orientiert. Optional ist beispielsweise der Applikationsserver, da eine direkte Kommunikation der „light clients“ als PDA-Anwendungen mit der Datenbank ebenfalls möglich wäre. Der Vorteil des Applikationsservers ist, dass mit seiner Hilfe aus verschiedenen Portalen, beispielsweise jeglichem Internetbrowser, Informationen über HTTP-Request-Methoden vom System erfasst werden können.

### 4.2.7 Aktivitätsdiagramm

Bei einem Ortungseinsatz in Trümmer stellt die Suche nach Verschütteten die zentrale Aktivität dar. Abbildung 4.11(a) zeigt das Aktivitätsdiagramm der Suche eines Verschütteten. So ergibt eine Ortung entweder einen gewissen Fund, der Bergungsmaßnahmen zur Folge hat oder ein ungewisses Indiz. Bei ungewissen Informationen wird die Information erst analysiert. Bei der Analyse der Ortungsergebnisse sollten alle relevanten Ortungsergebnisse für die gegebene Position berücksichtigt werden. Die Analyse führt entweder zur erneuten Ortung an der gleichen Position, zu einer Ortung an einer neuen Position, zur Beendigung der Rettungsaktion oder zum Einleiten von Bergungsmaßnahmen.

Beim positiven Ergebnis kann es sich entweder um einen Fund handeln, der die Suche terminiert oder um eine Vermutung. Bei einer Vermutung erfolgt eine Analyse der bereits erfassten Ortungsergebnisse an der gegebenen Position. Diese führt entweder zu einer erneuten Ortung, einer Bergung oder dem Ende des Rettungsaktionen. Die Bergung ergibt einen oder keinen Fund. Falls jemand gefunden worden ist wird nochmals geortet. Dies entspricht der sogenannten Nachortung. Falls diese keine positives Ergebnis ergibt, wird die Suche an dieser Stelle beendet.

In Abb. 4.11(b) wird die Aktivität der Priorisierung getrennt von der Suche dargestellt. Dem Anwender stehen zwei Methoden der Informationsverarbeitung zur Auswahl. Entweder sie erfolgt automatisch oder der Anwender gibt Position und / oder der Anzahl der Verschütteten vor. Die Priorisierung von Ortungsmaßnahmen erfolgt an den erfolgversprechendsten Positionen. Dabei werden die Ressourcen, sofern vorhanden, vorzugsweise auf die erfolgversprechendsten Positionen konzentriert zugeteilt.



(a) Aktivitätsdiagramm der Suche nach einem Verschütteten an einer Position. Der Stern bei „Bergung durchführen“ weist auf die Annahmen hin, dass nur eine Bergung durchführbar ist und genügend Ressourcen vorhanden sind. Falls die Ressourcen nicht ausreichen, erfolgt eine Priorisierung, s. Abb. 4.11(b).

(b) Aktivitätsdiagramm der Priorisierung von Bergungsmaßnahmen nach der Verarbeitung von Ortungsbefunden, die entweder automatisch erfolgt oder Vorgaben vom Anwender berücksichtigt.

Abb. 4.11: Aktivitätsdiagramme der Rettung Verschütteter.

### 4.2.8 Informationsflussdiagramm

Der Informationsfluss während der Suche nach einem Verschütteten, wie er in Abb. 4.12 dargestellt wird, bedingt den Erfolg einer Rettungsmaßnahme, vor allem wenn mehrere Verschüttete gesucht werden. Der Grund dafür ist, dass nur bei erfolgreicher Kommunikation aller relevanten Informationen es zu objektiven Priorisierungsentscheidungen kommen kann.

Das Informationsflussdiagramm in Abb. 4.12 unterscheidet drei Niveaus von Prozessen: physische, informative und kognitive. Am Unglücksort wird versucht physische Signale der Verschütteten durch Ortungsmethoden und ggf. deren Sensorik zu erfassen. Das Ortungsergebnis geht entweder direkt zum Ortungsteam oder wird vorerst durch den informative Benutzeroberfläche dargestellt. Das Ortungsteam evaluiert (ergo kognitiv) das Ortungsergebnis und gibt es ggf. über die Benutzeroberfläche des digitalen Datenerfassungsterminals zur zentralen Informationsverarbeitung weiter. Auch wenn dort



ermöglicht die Weitergabe von Informationen zu Feuer, Blockaden, Opfer Fundorte, erkundete Bereiche und gewisse positive Ortungsergebnisse, bei denen die Position eines Opfers noch unklar ist. Das in dieser Arbeit verwendete Kommunikationsprotokoll verallgemeinert die Erweiterung von *Kleiner*, indem nicht nur Feuer oder Blockaden, sondern verschiedene Gefahren und Umgebungen angegeben werden können. Es stützt sich dabei auf den Konventionen von Behörden und Organisationen mit Schutzaufgaben und deren taktische Zeichen (s. [45]). Außerdem werden positive wie negative Ortungsergebnisse aller drei Klassen von Messmethoden strukturiert (s. Abschnitt 3.2 aus S. 28). Auch die Umgebung, in der die Messergebnisse erhalten wurden, wird im Kommunikationsprotokoll festgehalten. Dies ermöglicht den Einfluss der Umgebung auf die Messungen während der Erfahrungskonsolidierung zu ermitteln. Es unterstützt die menschliche wie technische Erfassung von Information.

Eine tragbare und kabellose **Kommunikationsinfrastruktur** ist am Einsatzort zu bevorzugen. In unwegsamem Gelände einer Unglücksstelle ist sie von großem Vorteil. Kommunikation über physische Datenträger ist prinzipiell auch möglich (s. „Delay Tolerant Networks“ [102, 106]), birgt jedoch den Nachteil eines verzögerten Informationsflusses in sich, da die Meldung vom Sender zu den Empfängern physisch getragen werden muss.

### 4.2.9 Sequenzdiagramm

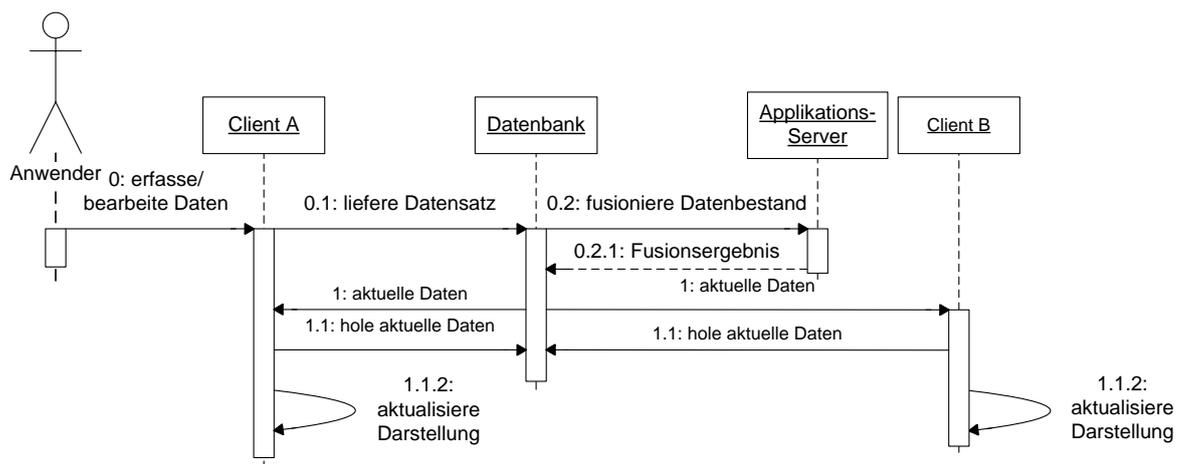
Ein IT-System für Ortungseinsätzen unterstützt zeit- und sicherheitskritische Vorgänge. Daher kann die Synchronisation von mehreren Endgeräten nicht auf Abfrage erfolgen, sondern muss so schnell wie möglich verfügbar sein. Sobald Information von einem beliebigen Teilnehmer bekannt gegeben wurde, muss diese prinzipiell auf allen Endgeräten automatisch zur Verfügung stehen. Dies muss ein Synchronisationsdienst sicherstellen.

Das Sequenzdiagramm in Abb. 4.13 ist eine Darstellung der Abfolge dieses Synchronisationsdienstes. Es zeigt das Zusammenspiel verschiedener Objekte untereinander. Das Diagramm zeigt dabei nicht die Objektklassen, sondern übergeordnete Objekte wie Clients. Client A stellt beispielsweise die Anwendung auf einem tragbaren Computer dar, die von einer Einsatzkraft oder einem Einsatzleiter genutzt wird, um Informationen zu erfassen oder zu bearbeiten. Client B verfügt über den gleichen funktionellen Umfang. In dieser Darstellung wird gezeigt, wie er mit dem aktuellen Datenbestand des Datenbankservers synchronisiert wird. Der Nutzer des Clients B wird nicht dargestellt. Es wird auch davon ausgegangen, dass eine Erfassung oder Bearbeitung von Informationen durch Client A direkt dargestellt wird und keiner Aktualisierung der Darstellung bedarf.

Das Kommunikationsprotokoll TCP/IP verfügt über ein sogenanntes Dreiwege-Handshake Verfahren, das eine Übermittlung von Informationen sicherstellt. Dennoch sollte der Eingang von Informationen nicht nur von einem Client bestätigt werden, sondern auch durch den Anwender. Dies ist bei einer sicherheitskritischen Anwendung, wie beispielsweise der Unterstützung eines Ortungseinsatzes, wichtig.

## 4.3 Prototypische Umsetzung

Auf Grundlage der Spezifikationen wurde ein Demonstrator-IT-System entwickelt, das eine Evaluation in realen Szenarien erlaubt. Dieses IT-System baut sich aus mehreren



**Abb. 4.13:** Sequenzdiagramm einer Dateneingabe oder -bearbeitung bei einer Fusionsanwendung mit mehreren Nutzern, die verschiedene Clients benutzen.

Komponenten auf (s. Abb. 4.6). Das IT-System besteht hauptsächlich aus zwei Anwendungen. Die erste ist PC basiert und unterstützt die Entscheidungsträger in der Führungsstelle<sup>14</sup> und verfügt über einen ausgedehnten Funktionsumfang mit Ausnahme einer „direkten“ Eingabe von Informationen mit Raumbezug. Diese Funktionalität ist jedoch für die Entscheidungsträger fernab vom Einsatzort sowieso nur von geringer Bedeutung.

Die zweite Anwendung verfügt über einen angepassten Funktionsumfang, der der Einsatzkraft vor Ort vor allem die Erfassung von Ortungsergebnissen aber auch von Gefahren und Schadenselementen einschließlich eines Raumbezugs und eines Zeitstempels ermöglicht<sup>15</sup>. Diese sogenannte „schlanke“ Anwendung läuft auf einem leichten und somit tragbaren Computer, einem sogenannten „Personal Digital Assistant“ und verfügt über einen integrierten GPS-Empfänger<sup>16</sup>, um eine „direkte“ Eingabe von Informationen mit Raumbezug zu ermöglichen<sup>17</sup>.

Beide Anwendungen basieren auf einem zentralen Server, der auch eine Datenbank mit geographischen Funktionen und einen sogenannten „Applikationsserver“ beherbergt<sup>18</sup>. Ihr Schema wurde den Anforderungen entsprechend entwickelt und ist im Anhang C einsehbar. Die Verarbeitung von Informationen basiert größtenteils auf Funktionen, die direkt in der Datenbank aufgerufen werden. Somit wird Effizienz und Datenintegrität sichergestellt. Die leichte Anwendung wurde gänzlich im Rahmen dieser Arbeit entwickelt. Die PC-Anwendung basiert auf den Bibliotheken des Geoinformationssystems uDig (kurz für: „User-friendly Desktop Internet GIS“) von *Refractions Research* [160]. uDig kann als Basissystem angesehen werden, da es die Visualisierung von georeferenzierter Information ermöglicht. Die Funktionalität von uDig musste jedoch grundlegend erweitert werden, um den Einsatzkräften ein funktionsfähiges und anwen-

<sup>14</sup>s. Gebrauchsanleitung im Anhang B.2; Sie ist eine Eclipse Rich-Client Entwicklung [131].

<sup>15</sup>s. Gebrauchsanleitung im Anhang B.1;

<sup>16</sup>von u-blox: <http://www.u-blox.com>, besucht Oktober 2013.

<sup>17</sup>Bisher können mit der leichten Anwendung nur Informationen zu Positionen und Flächen mit Zentrum des aktuellen Standorts angegeben werden. Eine relative Angabe bezüglich einer Position oder einer Karte wurden nicht umgesetzt, da Einsatzkräfte die einfachere „direkte“ Eingabe bevorzugen.

<sup>18</sup>Es handelt sich hierbei um einen Tomcat Applikationsserver (<http://tomcat.apache.org>, besucht Oktober 2013) und einer PostgreSQL Datenbank mit PostGIS [159].

derfreundliches IT-System zur Entscheidungsunterstützung bei der Bewältigung von Ortungseinsätzen zur Verfügung stellen zu können. Erwähnenswerte Erweiterungen waren die automatische Konfiguration der Ansicht, eine Funktionalität zur relativen Eingabe von unterschiedlichen Befunden durch „drag&drop“ von taktischen Symbolen, angepasste Formulare und Ansichten, Nutzer- und Symbolverwaltung und schließlich die automatische Anbindung an die Datenbank. Eine weitere, wichtige Funktion ist die unverzügliche Auffrischung der Darstellung des Datenbestands in der PC-Anwendung, um die Ergebnisse der automatischen Verarbeitung nach Eingang neuer Daten in die Datenbank dem Anwender alsbald zur Verfügung zu stellen.

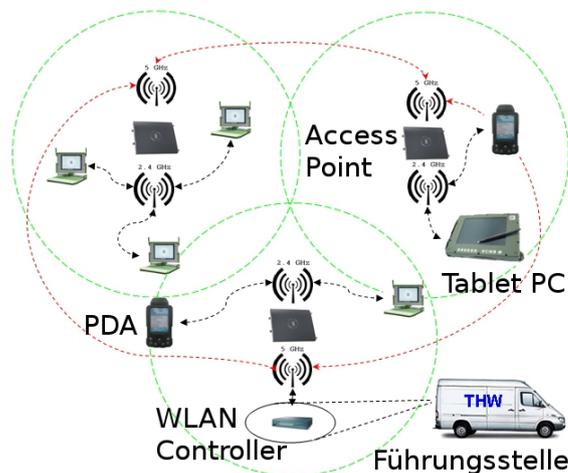
Bei allen Anwendungen wurde darauf geachtet, dass sie dem Anwender minimalen Aufwand bei der Konfiguration abverlangen. Auch wurde auf die Erweiterbarkeit des Informationssystems in der Zukunft geachtet, indem viele Aspekte parametrisiert werden können.

Die Kommunikationsinfrastruktur des IT-Systems basiert auf einer konventionellen WLAN Infrastruktur. Diese musste so verändert werden, dass sie ein größtmögliches Einsatzgebiet abdeckt und auch Empfang hinter massiven Wänden bietet. Hierzu wurde ein *ad-hoc-Netzwerk* aus drei sogenannten „WLAN Access Points“ (AP1240AG von CISCO) aufgebaut, die untereinander auf dem 5 GHz Netz kommunizieren (s. Abb. 4.14(a)) [86]. Endgeräte kommunizieren hingegen auf dem 2,4 GHz Netz. Der zentrale Access Point ist mit dem WLAN Controller 2106 System durch ein LAN Kabel verbunden<sup>19</sup>. Die anderen Access Points verfügen über 12 V-Batterie Versorgung, wie es Abb. 4.14(b) zeigt. Jeder Access Point inklusive Verkablung und DC-DC-Konverter ist dabei in einem Gehäuse eingebaut, das für den Außeneinsatz geeignet ist. Sie können somit in variabler Anzahl (max. 25) überall aufgestellt werden und gewähren somit eine skalierbare Netzabdeckung, so lange der Energiespeicher reicht. Da eine Netzabdeckung nie gänzlich ist, sollte jedoch darauf geachtet werden, dass Meldungen solange gepuffert werden können (s. Framework R-OSGi [162]), bis das tragbare Endgerät Netzempfang erhält.

Die in Abb. 4.14(a) dargestellten, mobilen Endgeräte PDAs wirken unangepasst und obsolet unter Anbetracht der Omnipräsenz von leistungsstarken, mobilen Endgeräten in der Bevölkerung. Das THW sieht jedoch bewusst vom Einsatz von persönlichen Endgeräten von Einsatzkräften ab. Zum einen wäre das THW beim Mitführen dieser Geräte für deren Beschädigung haftbar. Zum anderen befürchtet das THW den Informationsfluss von der Einsatzstelle nicht kontrollieren zu können, falls den Einsatzkräften gestattet wird ihre eigenen Kommunikationsmittel mitzuführen. Es wurde daher bei der prototypischen Umsetzung auf eine robuste Hardware zurückgegriffen. Außerdem konnte der digitale Kommunikationskanal ausschließlich durch Einsatzkräfte genutzt werden.

Eine Offenlegung digitaler Kommunikationskanäle könnte der Allgemeinheit ermöglichen einfacher Informationen an die Einsatzkräfte weiterzuleiten. Dies könnte die Effizienz eines Einsatzes durch beschleunigte Lageerfassung auf Grund der Vergrößerung der Anzahl potentiell beitragender Beobachter vergrößern. Insbesondere könnte das Erfassen von Augenzeugenberichten über die Präsenz von Opfern im Gebäude vor seinem Einsturz vereinfacht werden. Die Effizienzsteigerung ist jedoch an der Objektivität der Meldungen gekoppelt, die über diesen Kanal übertragen werden. Kritisch sollte somit der Aufwand und die Qualität bei der Einstufung der Objektivität von Meldungen aus

<sup>19</sup>Für mehr Details sei auf folgende Internetseite verwiesen: [www.cisco.com/en/US/products/ps7221/index.html](http://www.cisco.com/en/US/products/ps7221/index.html), besucht Oktober 2013.



(a) Gesamte verteilte Kommunikationsinfrastruktur.



(b) Mobiler WLAN Access Point auf einem Mast mit seiner Batterie.

**Abb. 4.14:** Mobile WLAN Kommunikationsinfrastruktur des Demonstrator-IT-Systems. Antennen beziehungsweise sogenannten Access Points sind untereinander über ein 5,0 GHz WLAN vernetzt und kommunizieren mit Endgeräten über das 2,4 GHz WLAN.

nicht zwingend belastbaren Quellen weiter untersucht werden.

Tabelle 4.4 zeigt auf welche der in Abschnitt 4.2 aufgeführten Funktionen umgesetzt wurden.

## 4.4 Zusammenfassung

Dieses Kapitel stellt die Ergebnisse einer bundesweiten Umfrage zum Entscheidungsverhalten von Einsatzkräften bei Ortungseinsätzen in Trümmern vor. Diese Umfrage hat gezeigt, dass Einsatzkräfte keine universelle Strategie haben, wie sie mit ungewissen Informationen bei ihrem Entscheidungsprozess umgehen. Die Einschätzung der Glaubwürdigkeit hat einen Einfluss auf die Einleitung von Bergungsmaßnahmen während Ortungsmaßnahmen. Dies ist insoweit problematisch, da bei gleicher Informationsgrundlage Einsatzleiter unterschiedlich entscheiden könnten. Ebenso scheinen weder die Auswahl noch die Reihenfolge auf Regeln zu basieren, was womöglich auf die geringe Anzahl von Ortungseinsätzen in Deutschland zurückzuführen ist. Das heißt, dass die Rettungswahrscheinlichkeit von Verschütteten nicht nur von unter anderem den Ortungsmethoden und den Bedingungen abhängt, sondern auch vom Entscheidungsverhalten der Einsatzkräfte selbst.

Es scheint einen Bedarf zur Verbesserung der Kommunikationsfähigkeiten und des Lagebewusstseins während einer Katastrophenbewältigung zu geben. Die Vorteile von

**Tabelle 4.4:** Zusammenfassung der im Demonstrator realisierten Anwendungsfälle basierend auf Abb. 4.8.

<b>Anwendungsfall</b>	<b>Erklärung</b>
Kennung freigeben	Bei der Übermittlung von Daten mit der GeoRescue Anwendung wird automatisch auch die Kennung des Suchtrupps und deren Position an den zentralen Server und somit an die Führungsstelle übertragen. Somit ist die Führungsstelle bei der Erfassung der Einheiten entlastet.
Position bestimmen	Die mobile Applikation läuft auf einer Hardware, die einen GPS-Receiver integriert. Die Positionen der Einsatzkräfte werden regelmäßig übermittelt.
direkt Daten erfassen	Eine Erfassung einer Information und dessen Übermittlung an den zentralen Server wird automatisch an die Übermittlung der Position bei ihrer Erfassung gekoppelt.
Informationsfusion	Das IT-System integriert eine redundante Fusionsmethode, die in [4] detailliert beschrieben ist. Es ist eine redundante Fusionsmethode realisiert.
Lage einsehen	Der Demonstrator erlaubt die Darstellung von mehreren georeferenzierten, horizontalen Karten, um den Anforderungen eines teileingestürzten Gebäudes gerecht zu werden.
Augenzeugen verwalten	Die Eingabe eines Augenzeugenberichts ist mit der Erfassung der Personalien des Augenzeugens gekoppelt.
relativ Daten erfassen	Eine Drag & Drop Funktionalität wurde im Demonstrator umgesetzt.
Betroffene verwalten	Ein neuer Betroffener kann jederzeit erfasst werden. Sein Status ist modifizierbar.
Autorisierung verwalten	Das Betreten von Gefahrenzonen kann entweder autorisiert oder verweigert werden.
Einsatzkraft warnen	Durch die automatische Erkennung des Betretens einer Gefahrenzone einer nicht autorisierten Einsatzkraft, kann die Führungsstelle alsbald reagieren.
indirekte Erfassung	Es ist mit dem Demonstrator möglich die Koordinaten eines Ortungsbefunds manuell in Grad Dezimal zu erfassen.
Daten verarbeiten	Die Meldungen der mobilen Anwendung werden für die Darstellung in der Führungsstelle verarbeitet.
Erkennung von Kontext und Aktivität	Unterstützung bei der Vermeidung von redundanten Information. Die Einsicht in bereits erfasste Informationen ist möglich.
Lokalisierung	Die Lokalisierung erfolgt über GPS.
Kartographie	Eine Methode ist beschrieben worden, um die Georeferenzierung von neuen Kartenmaterial auf Basis des GeoTiff Standards zu ermöglichen. Dieses Kartenmaterial kann im Demonstrator dargestellt werden.
Filter	Alle auf S. 78 beschriebenen Filter nach Kategorien sind umgesetzt.
einfach bedienbare Erfassungsterminals	s. Anhang B.1
Anwendung für die Führungsstelle	s. Anhang B.2
tragbare, kabellose Kommunikationsinfrastruktur	skalierbares ad-hoc-WLAN Netzwerk

georeferenzierten Textnachrichten sollten weiter evaluiert werden. Eine Unterstützung durch georeferenzierte Informationsübertragung vermag Entscheidungen zu unterstützen, die zu einer optimalen Planung eines Einsatzes führen. Weitere Untersuchungen hierzu sollten durchgeführt werden. Eine Unterstützung zum Einhalten der 5-Phasentaktik scheint nicht erforderlich zu sein. Die Priorisierung der Stellen könnte unterstützen, wo Bergungsmaßnahmen basierend auf der automatischen Fusion von Information durchzuführen sind. Diese sollte mit einer Einschätzung des Bergungsaufwands kombiniert werden. Heutzutage ist jedoch diese Einschätzung nur durch Einsatzkräfte möglich, die ein Volumenmodell aus der eingestürzten Struktur schlussfolgern können.

Übungen zum systematischen Umgang mit ungewissen Informationen sollten häufiger durchgeführt werden. Diese würden einen objektiven Umgang mit ungewissen Informationen durch eine Regelbasierte Vorgehensweise stärken. Diese Regeln sollen dazu verhelfen, in Stress Situationen und in einem ungewissen Kontext richtige Entscheidungen zu treffen. Da diese Regeln jedoch bisher nicht existieren, müssten sie unter Berücksichtigung des Erfahrungsschatzes der erfahrenen Einsatzkräfte geschaffen werden.

Dieses Kapitel schlägt auf der Basis dieser Bedarfsanalyse Spezifikationen für ein IT-System vor, das Entscheidungen während eines Ortungseinsatzes unterstützen soll.

Die erarbeiteten Spezifikationen sind die Grundlage für das Demonstrator-IT-System. Es handelt sich hierbei um ein verteiltes Informationssystem, das sich auf eine mobile, außen-einsatztaugliche Kommunikationsinfrastruktur stützt. Das Informationssystem bietet aus der Anwenderperspektive zwei Softwareanwendungen an, die sowohl auf das Gerät als auch auf die Anforderungen der Anwender zugeschnitten sind. So können die Einsatzkraft vor Ort und der Entscheidungsträger in der Führungsstelle sich auf Anwendungen stützen, die sie bei der Bewältigung ihrer Aufgaben unterstützt. Einsatzkräfte vor Ort verfügen über eine leicht bedienbare PDA-Anwendung, deren Funktion vor allem die Erfassung von georeferenzierten Meldungen ist. Der Funktionsumfang der PC-Anwendung ist größer, da dort alle vor Ort erfassten Informationen dargestellt werden. Das IT-System ermöglicht gleichermaßen die Erfassung wie auch die Verarbeitung von Daten.

Die Leistungsfähigkeit dieses Demonstrator-IT-Systems wird im folgenden Kapitel 5 evaluiert.

## 5 Feldversuche zu Ortungseinsätzen

Im Rahmen dieser Arbeit wurden mehrere Feldversuche durchgeführt, in denen verschiedene Technologien auf deren Einsatzwert getestet wurden. In deren Mittelpunkt stand die Evaluation des Demonstrator-IT-Systems. Es implementiert die meisten Spezifikationen von Abschnitt 4.2. Die Ergebnisse dieser Erprobungen werden in Abschnitt 5.1 diskutiert. Auch die Antworten von Einsatzkräften in zwei Umfragen zur Evaluation des Demonstrator-IT-Systems werden zusammengefasst.

Es wurden auch folgende Ortungsmethoden evaluiert, die im Rahmen des I-LOV-Projektes entwickelt wurden: Radar-Detektionsmethode, Erkundungsroboter und Ortungs-sonde. Die Aussagekraft von Messergebnissen mit der Radar-Detektionsmethode wurden evaluiert. Beim Erkundungsroboter wurde dessen Einsatztauglichkeit in Anbetracht der jüngsten Erfahrung mit Erkundungsrobotern im Daiichi Kernkraftwerk in Fukushima evaluiert. Es wurde auch die Suche mit einer neuartigen semi-aktiven Ortungs-sonde kritisch evaluiert. Die Ergebnisse dieser Evaluationen werden im Abschnitt 5.2 vorgestellt.

### 5.1 Evaluation des Demonstrator-IT-Systems

Damit eine Evaluation von unterstützenden Systemen oder Methoden objektiv ausfällt, bedarf es eines Vergleichs. Qualitativ kann dies mit Erfahrungsbefragungen der Einsatzkräfte geschehen, was wertvolle Hinweise liefern könnte. Dies ist eine wichtige Informationsquelle, da sich Erprobungen in Einsätzen oder Übungen nur selten wiederholen lassen. Diese Wiederholung wäre jedoch nötig, um Vor- und Nachteile einmal mit und ein anderes Mal ohne neue Unterstützung quantitativ evaluieren zu können. Eine Methode zur Evaluation der Effizienzsteigerung wird in folgendem Abschnitt präsentiert, bevor auf Feldversuche und ihre Ergebnisse eingegangen wird.

#### 5.1.1 Methode zur Evaluation der Effizienzsteigerung

Die Methode zur objektiven Evaluation der Effizienzsteigerung von Ortungseinsätzen durch unterstützende Systeme basiert auf einem Vergleich. Eine Übung muss mindestens zweimal durchgeführt werden, wobei keine Trainingseffekte die Aussagekraft schmälern dürfen. Somit muss sichergestellt werden, dass beide Durchläufe ähnlich ablaufen und unter gleichen Voraussetzungen begonnen werden. So ist es beispielsweise bei diesem Vergleich ungünstig, wenn die Verschüttetenpositionen beim zweiten Durchlauf bereits bekannt sind. Es ist hierbei von Vorteil, wenn die Suchmannschaften in zwei oder mehrere Gruppen aufgeteilt werden und im Wechsel nur einen eingeschränkten Bereich absuchen.

Tatsächlich müssten viele dieser Vergleiche mit vielen verschiedenen Gruppen durchgeführt werden, um eine signifikative Aussage zur Effizienzsteigerung machen zu können. Mehrtägige Übungen sowie solche mit realistischen Bergungsaufgaben, die für die Evaluation der Entscheidungsunterstützung durch das Demonstrator-IT-System besonders hilfreich wären, sollten ebenfalls durchgeführt werden.

In Anbetracht der notwendigen Ressourcen um eine Vielzahl von Übungen durchzuführen und dem hohen Aufwand realistische Such- und Bergungsaufgaben über mehrere Tage nachzubilden, war dies in Rahmen dieser Arbeit nicht umsetzbar. Aus diesem

Grund ist die Evaluation eines Systems nach jedem realen Einsatz sowie Übungen durch Befragungen von Einsatzkräften unumgänglich, um in einem iterativen Prozess das unterstützende System zu verbessern.

### 5.1.2 Evaluation des Grundkonzepts

Ein erster Feldtest wurde 2009 auf einem Truppenübungsplatz in Hartheim in Zusammenarbeit mit den THW-Ortsverbänden Breisach und Emmendingen durchgeführt, der die Evaluation des Grundkonzepts des Demonstrator-IT-Systems ermöglichte. Während dieses Feldtests wurden die erste bis zur vierten Phase der 5-Phasentaktik (s. Abschnitt 3.1 auf S. 24) geübt. Der Fokus galt der dritten Phase. Die fünfte Phase wurde nicht durchgeführt, da sie für die Suche nach lebenden Verschütteten keine Bedeutung hat.

Dabei wurde parallel zur konventionellen Lagedarstellung eines Einsatzes, wie sie in Abb. 1.1(a) auf S. 5 dargestellt ist, eine erste Version des Demonstrator-IT-Systems ohne PDA eingesetzt, um die Lage festzuhalten. Nur eine Person hat die Lage mit einem sogenannten „Tablet PC“ erfasst. Dies hat sich als unzureichend herausgestellt, da Ergebnisse von mehreren Ortungsteams quasi zeitgleich erfasst und kommuniziert wurden. Erschwerend war vor allem, dass eine Person nicht alle Positionen einsehen konnte. Dies wäre jedoch nötig gewesen, um die Meldungen mit einer Georeferenz zu vervollständigen. Es wurde in dieser ersten Evaluation auch die Unzulänglichkeit der konventionellen Lageerfassung deutlich. Sie kann Positionen nur ungenau erfassen. Nur die Einsatzkräfte vor Ort sind befähigt die Meldungen genau zu georeferenzieren.

Diese Evaluation ergab, dass die *indirekte* Eingabe (für eine Erklärung s. S. 66) von Informationen mit Raumbezug im Ernstfall nicht praktikabel ist. Die Erfassung sollte vorzugsweise entweder *direkt* oder *relativ* erfolgen.

Außerdem hat sich gezeigt, dass das Gewicht von tragbaren Computern maßgeblich die Akzeptanz der Anwender bestimmt. Er darf nicht zu schwer sein. Das für den Außeneinsatz taugliche Tablet-PC mit einem Gewicht von 2,3 kg ist bereits zu schwer.

Es stellte sich während dieses Feldtests außerdem heraus, dass der Nutzen von Informationsfusion von Ortungsbefunden (s. Abschnitt 4.2.4 auf S. 70) den Einsatzkräften nicht klar wurde. Zu berücksichtigen gilt hier, dass die neuen Ortungstechnologien des I-LOV-Projektes nur beschränkt im Einsatzablauf integriert waren. Aus diesem Grund war der Informationsfluss nicht größer als gewöhnlich und somit war die Erforderlichkeit von Informationsfusion nicht zwingend gegeben. Die Netzabdeckung mit einer einzigen Richtantenne war nicht ausreichend. Obwohl eine hohe Reichweite von über 300 m im Freifeld erzielt werden konnte, war eine Erfassung im WLAN Schatten beispielsweise hinter einem Gebäude nicht möglich.

Die Schlussfolgerung, die aus diesem ersten Feldtest gezogen wurde, führte zur Entwicklung einer möglichst leicht bedienbaren und tragbaren PDA-Anwendung, die von Einsatzkräften vor Ort benutzt werden kann, um Positionen möglichst genau georeferenziert der Führungsstelle übermitteln zu können (s. Gebrauchsanleitung im Anhang B.1). Dabei sollte die Anwendung auf einem Computer laufen, der unter 1 kg Gewicht hat. Außerdem wurde basierend auf der Erfahrung der unzureichenden Netzabdeckung die Kommunikationsinfrastruktur aufgebaut, die in Abschnitt 4.3 auf S. 86 beschrieben wird.

### 5.1.3 Evaluation des Informationsflusses in Großschadenslagen

Ein Feldtest in Zusammenarbeit mit dem THW-Ortsverband Unna-Schwerte wurde in Holzwickede 2011 in einem unzerstörten Areal von 3.7 ha durchgeführt. Dieser zielte darauf ab, die Auswirkung des Demonstrator-IT-Systems auf den Informationsfluss in der Erkundungsphase und auf die Führungsstelle zu beurteilen. Fokus galt der ersten Phase der 5-Phasentaktik. Die Evaluation der Fusion von Information stand in diesem Feldtest nicht im Fokus. Einige Einsatzkräfte waren durch Suchhunde begleitet, was der dritten Phase entspricht. Es gab jedoch keine real Verschütteten, sondern nur Personen, die sich versteckt hatten. Aus diesem Grund kann der Einsatz von Suchhunden nicht als Ortung der dritten Phase angesehen werden, sondern entspricht eher der Erkundungsphase.

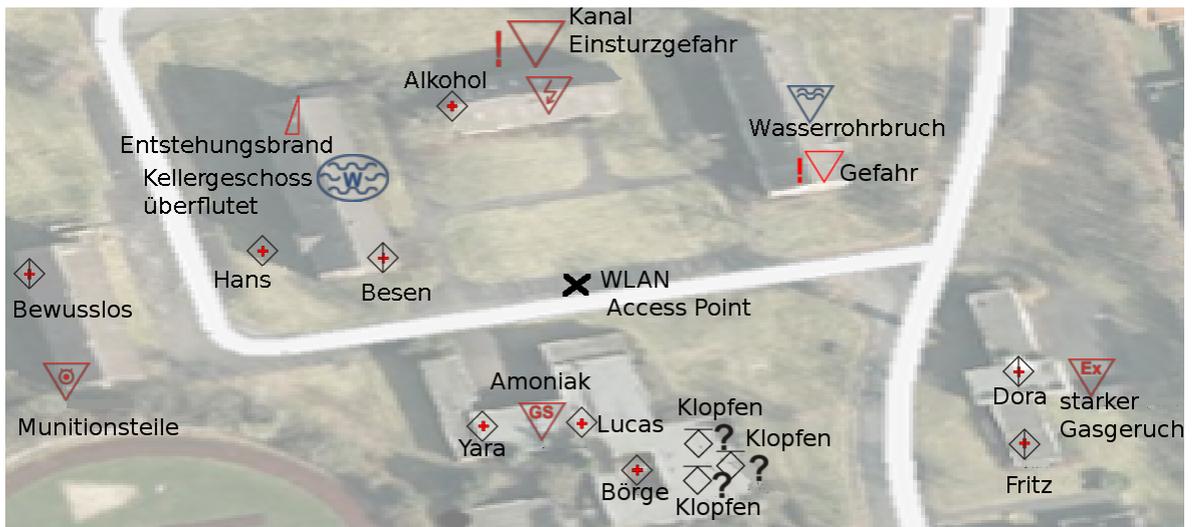
Sowohl die PC-Anwendung als auch die PDA-Anwendung kamen zum Einsatz. Der Feldtest wurde nach der in Abschnitt 5.1.1 vorgeschlagenen Methode durchgeführt, um eine objektive Evaluation zu ermöglichen.

Das erwähnte Areal wurde von vier Ortungsteams (jeweils zwei Einsatzkräften, ein Team mit Suchhund) durchsucht. Nicht nur Außenbereiche, sondern auch Erdgeschoss und sofern vorhandenes Obergeschoss von sechs Gebäuden (dargestellt in Abb. 5.1(a)) mussten erkundet werden, um 23 versteckte Karten und drei Personen zu finden. Drei dieser Karten beinhalteten ungewisse Informationen, wie es mit Fragezeichen in Abb. 5.1(a) gekennzeichnet ist. Die Karten waren hauptsächlich in Gebäuden versteckt. Zehn Karten betrafen Gefahren und 13 simulierte Opfer. Die jeweiligen Positionen der Karten sowie der Personen sind in Abb. 5.1 dargestellt.

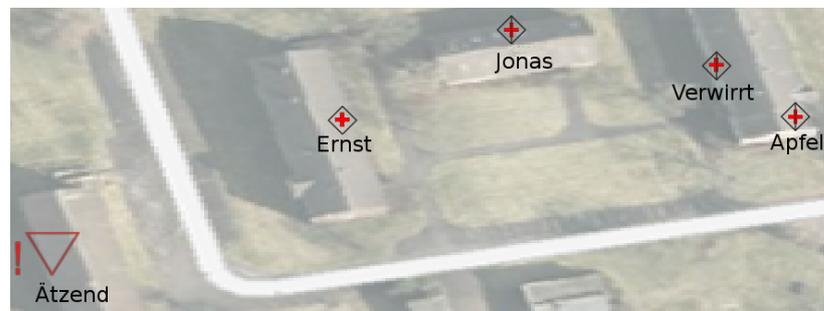
**Tabelle 5.1:** Auswahl taktischer Zeichen nach DV1-102 [45].

Symbol	Bedeutung		
			überschwemmtes Gebiet
	angeschlagen, beschädigt		Hundestaffel
	teilzerstört, teilweise zusammengebrochen		Bergen
	zerstört, zusammengebrochen		Gefahr
	betroffene Person		akute Gefahr
	vermisste Person		Gefahr durch Wassereinbruch
	Verletzter		Gefahr durch Explosion
	Toter		Gefahr durch explosionsfähige Kampfmittel oder Explosivstoffe
	verschüttete Person		gefährliche Stoffe
	gerettete Person		Elektrische Energie
	Vermutung		Entstehungsbrand

Während der beiden Läufe waren zwei Einsatzkräfte mit der Dokumentation und der Führung des Einsatzes in der Leitstelle betraut. Insbesondere die Führungsstelle stand während der zwei Läufe unter Beobachtung. Der erste Lauf nutzte nur konventionelle Kommunikationsmittel. Vorwiegend über Sprechfunk wurden Meldungen an die Führungsstelle übermittelt. Eine der Führungskräfte nahm die eingehenden Meldungen über Funk entgegen und schrieb das chronologische Meldungsprotokoll (s. Abb. A.2 im An-



(a) Positionen von Informationen im Erdgeschoss und im Außenbereich. Die versteckten Personen waren Lucas, Yara und Börge.



(b) Positionen von Informationen in ersten Obergeschossen.

**Abb. 5.1:** Positionen von Informationen im Feldversuch Holzwickede dargestellt mit taktischen Zeichen. Eine Auswahl dieser Zeichen ist in Tabelle 5.1 zu finden. An diesen Position innerhalb oder außerhalb der sechs Gebäude waren Informationen versteckt, die es zu finden galt.

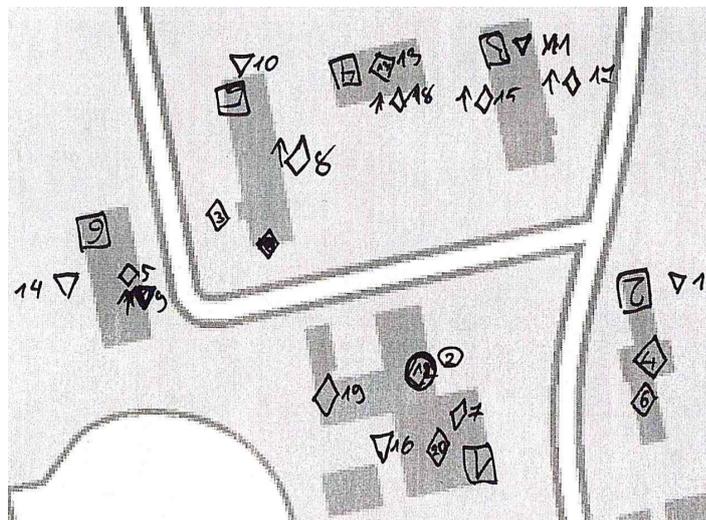
hang), während die andere die Lage auf einer Karte einzeichnete und eine Legende zur Karte erstellt, die in Abb. 5.2 und Tabelle A.2 im Anhang dargestellt sind.

Der zweite Lauf wurde durch das Demonstrator-IT-System unterstützt und nutzte ein konventionelles WLAN mit zentral positioniertem „Access Point“ als Kommunikationsinfrastruktur (s. Abb. 5.1(a)). Den nötigen Strom lieferte ein Elektrogenerator. Der zweite Lauf wurde mit der gleichen Konfiguration wie der erste durchgeführt, nur dass den Ortungsteams fremde Suchbereiche zugewiesen wurden. Die Einsatzkräfte wurden in den PDAs mit der leichten Anwendung in 15 min eingewiesen und aufgefordert, vorwiegend diese Anwendung zur Übermittlung von Meldungen zu nutzen. Ihnen wurde eine kurze Version der Gebrauchsanleitung der PDA-Anwendung (s. Anhang B.1) ausgehändigt. In der Führungsstelle nutzten die Führungskräfte einen Laptop auf dem die PC-Anwendung (s. Anhang B.2) lief.

### Ergebnisse der Lageerfassung

Im Folgenden werden die Ergebnisse für den ersten Lauf mit konventionellen Mitteln und anschließend für den zweiten Lauf unterstützt durch das Demonstrator-IT-System präsentiert.

**Erster Lauf mit konventionellen Mitteln** Der erste Lauf dauerte insgesamt 52 min. In dieser Zeit gingen 31 Sprechfunkmeldungen in der Führungsstelle ein. Die Einsatzkräfte in der Führungsstelle hatten Schwierigkeiten, alle Funksprüche aufzunehmen, da teilweise die Abstände zwischen den Funksprüchen gering waren. Wie aus dem Sprechfunkprotokoll hervorgeht gingen bis zu vier Meldungen pro Minute ein. Bei dieser maximalen Anzahl an Meldungen bleibt dem Protokollant nur gemittelt 15 s Zeit, um die Funksprüche festzuhalten. Die Einteilung in die verschiedenen Ebenen war nicht immer einfach, auch wenn ein relativ gutes Ergebnis erzielt wurde, wie es ein Vergleich zwischen der Lagekarte in Abb. 5.2 und dem Realzustand in Abb. 5.1 ergibt.



**Abb. 5.2:** Konventionelle Lagekarte basierend auf einem schematischen Luftbild des Feldversuchs in Holzwickede, 2011 (Quelle: THW Unna-Schwerte). Sechs Gebäude (markiert durch Rechtecke) wurden nach Gefahren (Dreiecke) und Personen (Rauten) abgesucht. Alle Informationen bezüglich des ersten Obergeschosses werden mit einem Pfeil markiert, alle anderen gelten dem Erdgeschoss oder dem Außenbereich zwischen den Häusern. Die Legende zur Karte befindet sich im Anhang (s. Tabelle A.2).

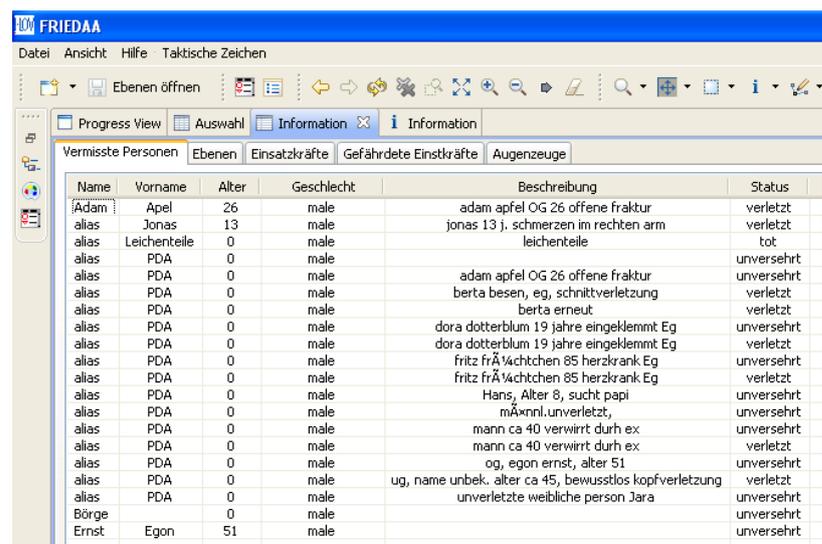
**Zweiter Lauf mit IT-Unterstützung** Im zweiten Lauf mit einer Dauer von 69 min gingen insgesamt 57 Meldungen über die PDAs ein. Da alle Meldungen automatisch mit einer Eingabe von abgesuchten Zonen eingehen und Personen, Gefahren und Schadens-elemente in einer Meldung verbunden werden können, ist die Gesamtanzahl der Einzelmeldungen deutlich höher. Sie liegt bei 92 Meldungen. Unberücksichtigt blieb, dass die Position jeder Meldung auch als aktuelle Position der Einsatzkraft festgehalten wird. Falls man diese zusätzliche Meldung berücksichtigt sind es 149 Einzelmeldungen. Da diese Meldungen jedoch nicht über Funk an die Führungsstelle übermittelt worden sind, sondern über WLAN, gab es quasi kein Sprechfunkaufkommen in der Führungsstelle.

Erschwerend war die mangelhafte Genauigkeit der übermittelten GPS-Positionen. Diese kann im Extremfall eine eindeutige Zuordnung einer Meldung zu einem Bereich, wie in diesem Feldtest die Gebäude, unmöglich machen. Die Gründe für die Positionsungenauigkeit sind zum einen, dass die meisten simulierten Opfer wie auch die Gefahren innerhalb von Gebäuden lagen und der GPS-Empfang dort bekanntlich schlecht ist. Zum anderen haben die Anwender bei der Benutzung der PDA-Anwendung teilweise Fehler gemacht.

Nachdem eine Position kurzfristig von einer Einsatzkraft erfasst wurde, kann sie eine andere Position aufsuchen um dort diese erfasste Position mit weiteren Informationen zu ergänzen und an die Führungsstelle zu übermitteln. Diese Funktionsweise ist von den Einsatzkräften erwünscht. Wenn eine Einsatzkraft jedoch Informationen zu seiner aktuellen Position beabsichtigt zu erfassen und vergisst die ursprünglich erfasste zu löschen, so geht die Information mit der ursprünglichen und nicht mit der aktuellen Position in der Führungsstelle ein. Eine Warnung über eine zur aktuellen abweichende Position könnte solche Anwenderfehler vermeiden.

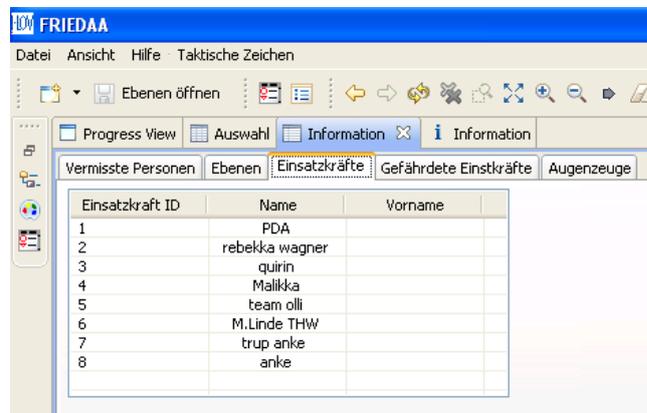
Die Kommunikationsinfrastruktur mit einem zentralen sogenannten WLAN Access Point (s. Abb. 5.1(a)) war nur teilweise ausreichend. Innerhalb von Gebäuden und in deren Schatten war eine Übermittlung von Meldungen zur Führungsstelle nicht immer möglich. Aus diesem Grund kam es zu einem Verzug der Meldungen, wie es in Abb. 5.6 zu erkennen ist.

In den Abbildungen 5.3 und 5.4 wird die erfasste und in der PC-Anwendung dargestellte Information gezeigt. In Abb. 5.3 sind redundante Einträge vorzufinden, die auf eine mehrfache Übertragung von Informationen zurückzuführen sind. Beim Wiedererlangen der mobilen Netzwerkverbindung nach einem Funkschatten, wurden offline gepufferte Daten mehrfach übertragen. Verbesserung des Demonstrator-IT-Systems sind erforderlich um dies in der Zukunft zu vermeiden. Ergebnisse der Datenfusion sind in Abb. 5.4(b) nicht dargestellt, da die Fusion nicht Teil dieses Feldtests war.



Name	Vorname	Alter	Geschlecht	Beschreibung	Status
Adam	Apel	26	male	adam apfel OG 26 offene fraktur	verletzt
alias	Jonas	13	male	jonas 13 j. schmerzen im rechten arm	verletzt
alias	Leichtentelle	0	male	leichtentelle	tot
alias	PDA	0	male		unversehrt
alias	PDA	0	male	adam apfel OG 26 offene fraktur	unversehrt
alias	PDA	0	male	berta besen, eg, schnittverletzung	verletzt
alias	PDA	0	male	berta erneut	verletzt
alias	PDA	0	male	dora dotterblum 19 jahre eingeklemmt Eg	unversehrt
alias	PDA	0	male	dora dotterblum 19 jahre eingeklemmt Eg	verletzt
alias	PDA	0	male	fritz frÄ¼chtchen 85 herzkrank Eg	unversehrt
alias	PDA	0	male	fritz frÄ¼chtchen 85 herzkrank Eg	verletzt
alias	PDA	0	male	Hans, Alter 8, sucht papi	unversehrt
alias	PDA	0	male	mÄ¼nnl.unverletzt,	unversehrt
alias	PDA	0	male	mann ca 40 verwirrt durh ex	unversehrt
alias	PDA	0	male	mann ca 40 verwirrt durh ex	verletzt
alias	PDA	0	male	og, egon ernst, alter 51	unversehrt
alias	PDA	0	male	ug, name unbek. alter ca 45, bewusstlos kopfverletzung	verletzt
alias	PDA	0	male	unverletzte weibliche person Jara	unversehrt
Börge	Egon	0	male		unversehrt
Ernst	Egon	51	male		unversehrt

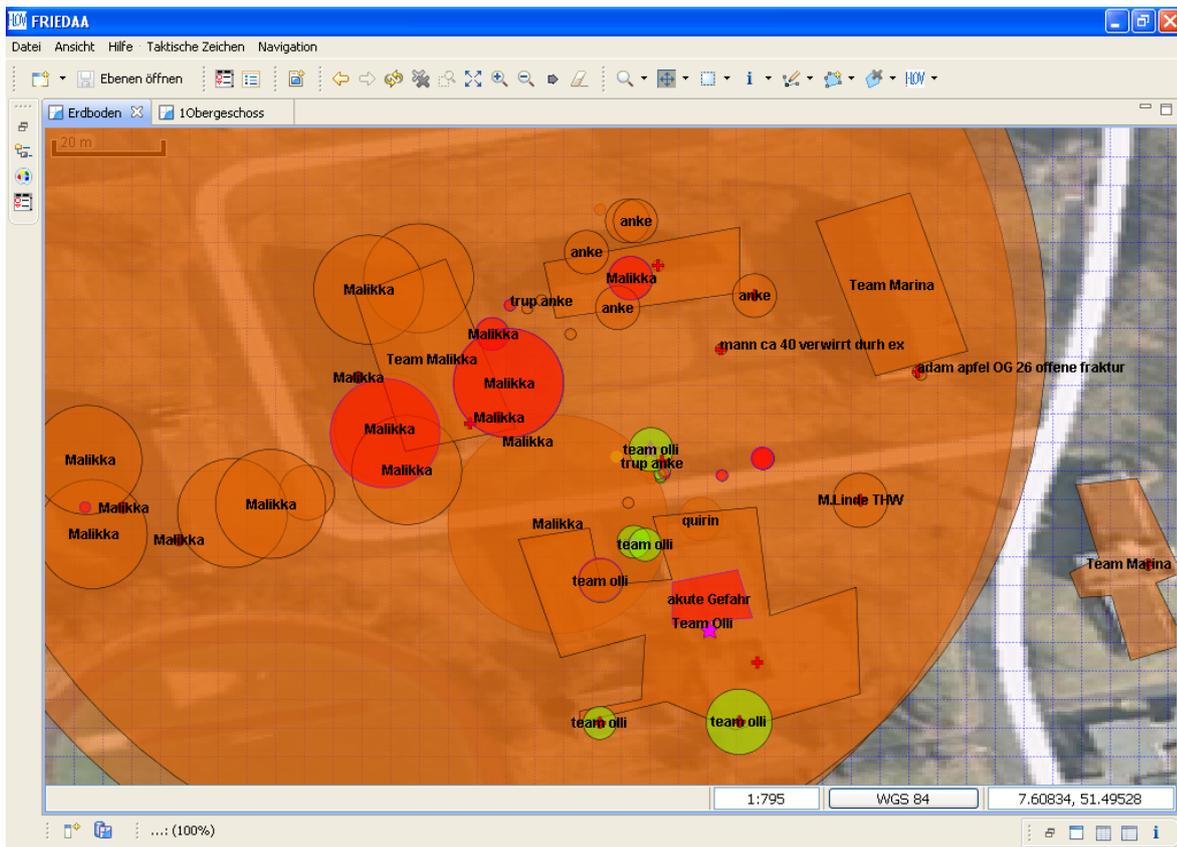
**Abb. 5.3:** Die globale Vermisstenliste ermöglicht die Übersicht aller Vermissten mit ihrem jeweiligen Status, der ihre Einordnung in vier Listen (s. S. 77) ermöglicht.



The screenshot shows the FRIEDAA software interface with a table of personnel data. The table has three columns: 'Einsatzkraft ID', 'Name', and 'Vorname'. The data is as follows:

Einsatzkraft ID	Name	Vorname
1	PDA	
2	rebekka wagner	
3	quirin	
4	Malikka	
5	team olli	
6	M.Linde THW	
7	trup anke	
8	anke	

(a) Die Liste der automatisch festgehaltenen Suchtruppnamen.

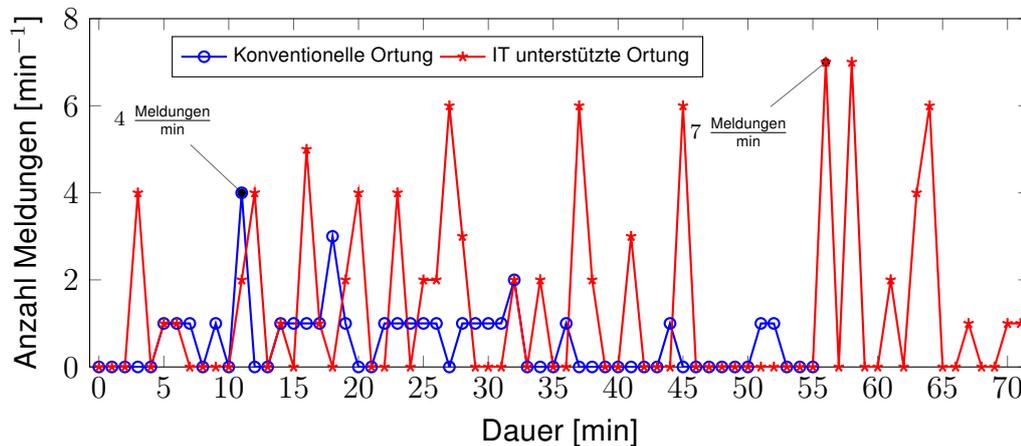


(b) Geographische Lagekarte aller verfügbaren Informationen zum Erdboden (ohne taktische Gefahrenzeichen).

**Abb. 5.4:** Lagerdarstellung am Ende des zweiten Laufs in Holzwickedede mit Unterstützung des Demonstrator-IT-Systems.

### Vergleich von ersten und zweiten Lauf

Das Meldungsaufkommen während des zweiten Laufs war fast doppelt so groß wie während des ersten, wie aus Abb. 5.5 und Tabelle 5.2 ersichtlich wird. Gleichzeitig wurde im zweiten Lauf die Führungsstelle bezüglich des Sprechfunks, der Protokollierung der Meldungen und der Lagedarstellung fast gänzlich entlastet.



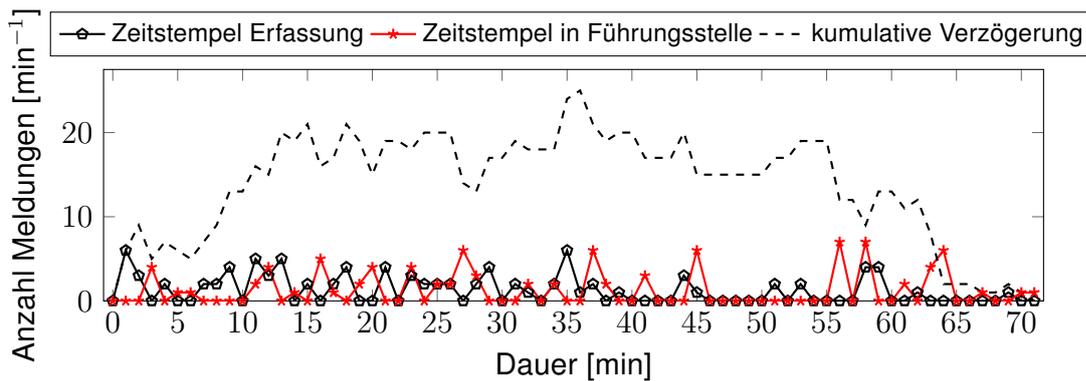
**Abb. 5.5:** Einfluss einer IT-Unterstützung auf das Meldungsaufkommen eines Ortungseinsatzes in Abhängigkeit des Zeitstempels „Eingang in der Führungsstelle“. Bei Unterstützung mit dem Demonstrator-IT-Systems wurden mehr Meldungen generiert, als bei einem konventionellen Einsatz.

**Tabelle 5.2:** Evaluation des Einflusses des Demonstrator-IT-Systems auf Einsatzablauf in Großschadenslagen in Holzwickede.

<i><b>Lauf</b></i>	<i><b>Anzahl übersehene Karten</b></i>	<i><b>Mittleres Meldungsaufkommen [min<sup>-1</sup>]</b></i>	<i><b>Mittlere Verzögerung [min]</b></i>	<i><b>Dauer Ortungseinsatz [min]</b></i>
konventionell	5	0,60	unbekannt	52
IT unterstützt	1	2,16	8	69

Im ersten Lauf ist es zu keiner Protokollierung des Zeitstempels der Erfassung vor Ort gekommen, die eine Analyse der Verzögerung zwischen Erfassung der Meldung vor Ort und dem Eingang der Meldung in die Führungsstelle erlaubt hätte. Deshalb ist die Auswertung des Unterschiedes zwischen erstem und zweitem Lauf bezüglich der Verzögerung nicht möglich. Für den zweiten Lauf kann die Verzögerung dargestellt werden, wie es Abb. 5.6 zeigt. Folgende Hypothesen zur Ursache der Verzögerung kann man aufstellen: Die Verzögerung im ersten Lauf ist auf eine Auslastung des Sprechfunks zurückzuführen. Im zweiten Lauf wird der Verzug durch eine mangelnde WLAN-Netzabdeckung des Einsatzgebietes bedingt.

Die Lagebilder der zwei Ebenen vom zweiten Lauf mit Unterstützung des Demonstrator-IT-Systems sind übersichtlicher und enthalten mehr Information als das Lagebild im ersten Lauf. Dies wird in der Bildschirmaufnahme in der Abb. 5.4(b) nicht deutlich, da alle



**Abb. 5.6:** Kumulative Verzögerung zwischen Erfassung am Einsatzort und Eingang in die Führungsstelle von Information (mittlere Verzögerung: 8 min ) in Abhängigkeit der Dauer des Einsatzes. Die Darstellung der Verzögerung ist nur auf Grund der Unterstützung durch das IT-System möglich.

Information in einem Bild dargestellt werden. Mit den verschiedenen Filtermöglichkeiten ist es jedoch möglich, übersichtliche Lagekarten zu generieren, wie es Abb. 5.7 zeigt.

Erschwerend ist jedoch die mangelnde Positionsgenauigkeit der Information, die sich aus der Ungenauigkeit der kommerziellen GPS-Empfänger ergibt, wie zu erwarten war. Des Weiteren kam es zu redundanten Eingaben, die im aktuellen Entwicklungsstand des Demonstrator-IT-Systems nicht aktualisiert werden konnten. Auch durch Eingabefehler in der PDA-Software kam es zu redundanten Erfassungen in der Vermisstenliste.

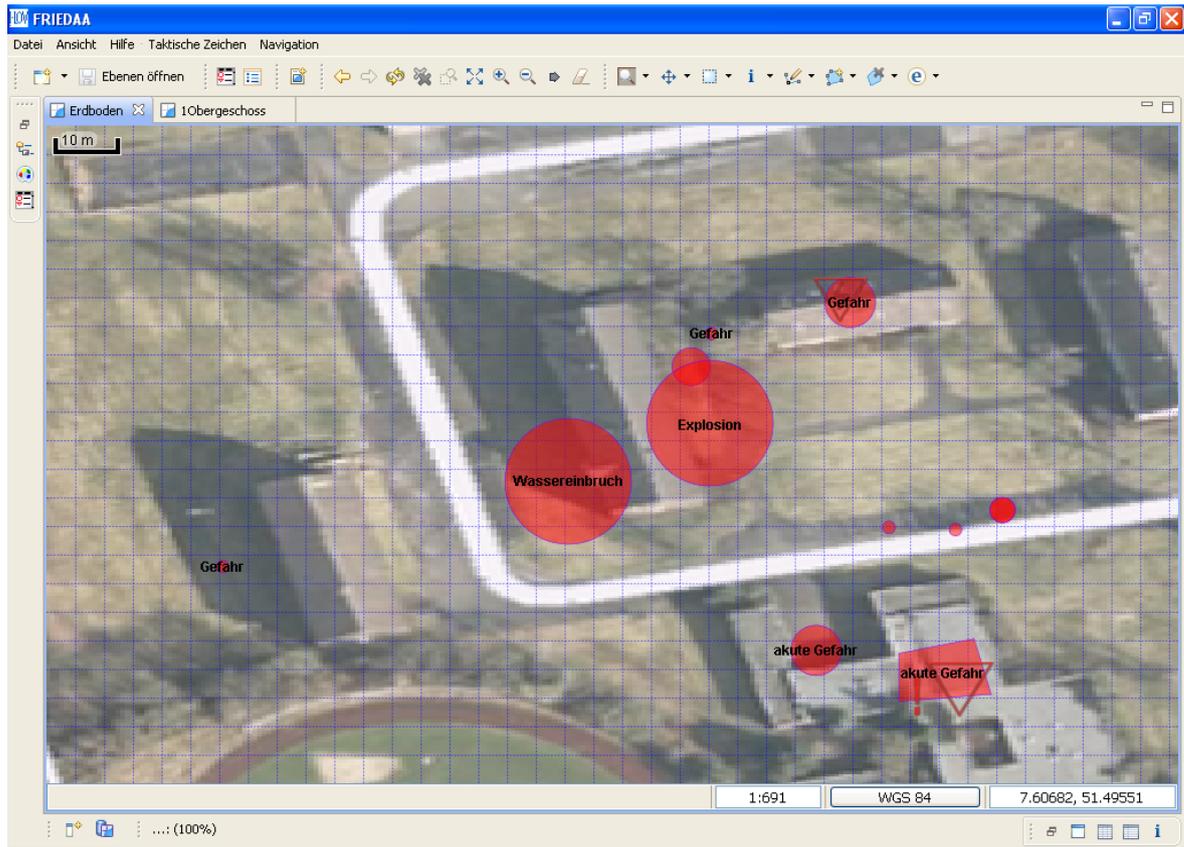
## Diskussion

Die Leistung der Protokollierung und Genauigkeit der Darstellung im ersten Lauf sind ausreichend, auch wenn die Positionen nur ungenau sind. Es gibt nur wenige Unstimmigkeiten. Vermutet wird, dass die Leistung signifikant schlechter wäre, wenn die Führungsstelle und die Einsatzkräfte vor Ort nicht über das gleiche Kartenmaterial verfügt hätten, was in Großschadenslagen durchaus vorkommen kann.

Zu erwähnen ist die Beobachtung, dass die Führungsstelle im ersten Lauf nicht in der Lage gewesen wäre, einen größeren Informationsfluss zu bewältigen. D. h. wenn mehr Funksprüche pro Zeitintervall eingegangen wären, so wäre entweder ein Verzug im Einsatzablauf oder eine geringere Qualität der Meldungen oder der Protokollierung zu erwarten gewesen. Fraglich bleibt, ob die Einsatzkräfte vor Ort dazu in der Lage sind, bei Funkauslastung den Zeitstempel der Erfassung der Information an die Führungsstelle zu übermitteln, und ob diese ihn festhalten kann.

Des Weiteren wurden die abgesuchten Bereiche im ersten Lauf nicht dargestellt, sondern nur Häuser als fertig gekennzeichnet (s. zweite Spalte in Legendentabelle A.2). Keine Information liegt vor, in wie weit beide Stockwerke durchsucht worden sind. In Außenbereichen wurde ebenfalls nur ansatzweise Information festgehalten, wo gesucht worden ist.

Gefahren wurden im ersten Lauf nur als Symbol dargestellt, der Einflussbereich von Gefahren – sogenannte „Gefahrenzonen“ – wurde jedoch nicht festgehalten. Somit war es im ersten Lauf unmöglich, gefährdete Einsatzkräfte zu erkennen und zu warnen, die sich in Gefahrenzonen befanden. Dies gilt vor allem, wenn Gefahrenzonen nicht vom



**Abb. 5.7:** Geographische Lagedarstellung der „Gefahren“ in der PC-Anwendung (Ebene Erdgeschoss und Außenbereiche (Vergleich mit Abb. 5.1(a))) nach Beendigung des zweiten Laufs in Holzwickede.

Einsatzort durch Einsatzkräfte gemeldet werden, sondern direkt in der Führungsstelle bekannt werden und an die betroffenen Einsatzkräfte übermittelt werden müssen. Die Erkennung von Gefährdeten war mit Unterstützung des Demonstrator-IT-Systems jedoch möglich.

#### 5.1.4 Evaluation des Einflusses aller I-LOV-Technologien auf den Ortungseinsatz

Die Evaluation des Einflusses neuer Ortungstechnologien wurde 2011 auf einem Übungsgelände von 0,58 ha der THW Bundesschule in Hoya in Zusammenarbeit mit mehreren Ortsverbänden mit Bergungszügen aus ganz Deutschland und der *Schnelleinsatzeinheit-Bergung-Ausland* (SEEBA) durchgeführt (s. Abb. 5.8). Das Areal wies zehn präparierte Schutthaufen auf, unter denen ein System von Tunneln künstlich angelegt wurde. In diesen können sich Verschüttetendarsteller frei positionieren. Ein getragenes Kleidungsstück – eine sogenannte „Verleitung“ – wurde ebenfalls versteckt. Somit konnte überprüft werden, ob die Hunde korrekt das falsche Ziel unterscheiden können. Außerdem positionierten sich in beiden Durchläufen drei Verschüttetendarsteller in den Tunneln. Dieses Übungsszenario erlaubte die Phasen eins bis drei der 5-Phasentaktik zu erproben. Ein Verschütteter galt als gerettet, sobald er gefunden wurde. Die Simulation der Bergungs-



**Abb. 5.8:** Simuliertes Unglücksszenario für den Feldtest zur Evaluation der I-LOV-Technologien an der THW Bundesschule in Hoya 2011.

und der abschließenden Maßnahmen, die Phasen vier und fünf der 5-Phasentaktik, waren nicht Teil der Übung und sind ohnehin nur schwer in einer Übung realistisch nachzustellen.

Der Feldtest zur Evaluation des Einflusses neuer Ortungstechnologien benützte das Demonstrator-IT-System, um die Protokollierung zu vereinfachen. Deshalb konnte auch der Umgang mit diesem evaluiert werden. Zwei Läufe wurden nacheinander durchgeführt. Der Erste wurde mit der konventionellen Ortungsmethoden (Mensch, Suchhund) durchgeführt. Eine technische Ortung wurde nicht durchgeführt. Während des zweiten Laufs wurde die biologische durch technische Ortung ergänzt. Es kamen neben dem existierenden Videoendoskop „Searchcam“ auch die im Rahmen des I-LOV-Projektes neu entwickelten Ortungstechnologien wie der Erkundungsroboter und die Ortungssonde zum Einsatz.

### Ablauf des Feldtest

Im ersten Lauf wurde das Areal und die Trümmerhaufen erkundet. Das entspricht der ersten und der zweiten Phase der 5-Phasentaktik. Die Ortung von Verschütteten wurde anschließend ausschließlich mit Suchhunden durchgeführt. Dies entspricht der dritten Phase der 5-Phasentaktik, wobei der Fokus auf der Ortung und weniger auf der Bergung lag. Zwei Gruppen erkundeten das Areal in 16 min. Anschließend wurde das Areal durch zwei Suchtrupps durchsucht. Nach 27 min Suche galten alle drei Verschütteten-darsteller als gefunden, obwohl die Position eines Verschütteten (s.  $x_{M2H}$  Abb. 5.11) nicht verifiziert war. An sich handelt es sich bei einem Fund durch einen Suchhund immer noch um ein ungewisses Ortungsergebnis, sofern keine Reaktion des Verschütteten erlangt worden ist oder kein direkter Zugang möglich ist. Die Hunde schlugen bei der Verleitung nicht an. Bei einer Position konnte kein direkter Nachweis erbracht werden, da keine Zugangsmöglichkeit in der Übung geschaffen werden konnte. Die Suchtrupps forderten eine technische Ortung an, die jedoch in diesem ersten Lauf nicht zur Verfügung stand. Die Gesamtdauer betrug 43 min während derer 93 Einzelmeldungen an den zentralen Server des IT-Systems übertragen wurden.

Der zweite Lauf wurde durch die SEEBA geführt. Das gleiche Szenario wie im ersten Lauf wurde benutzt, nur dass folgende technische Ortungsgeräte zusätzlich zur Verfügung standen (dargestellt in Abb. 5.9): ein Radarsystem, ein Videoendoskop (*Search-Cam 3000*), eine semi-aktive Ortungssonde.



(a) Biologische Ortung.



(b) Semi-aktive Ortungssonde.

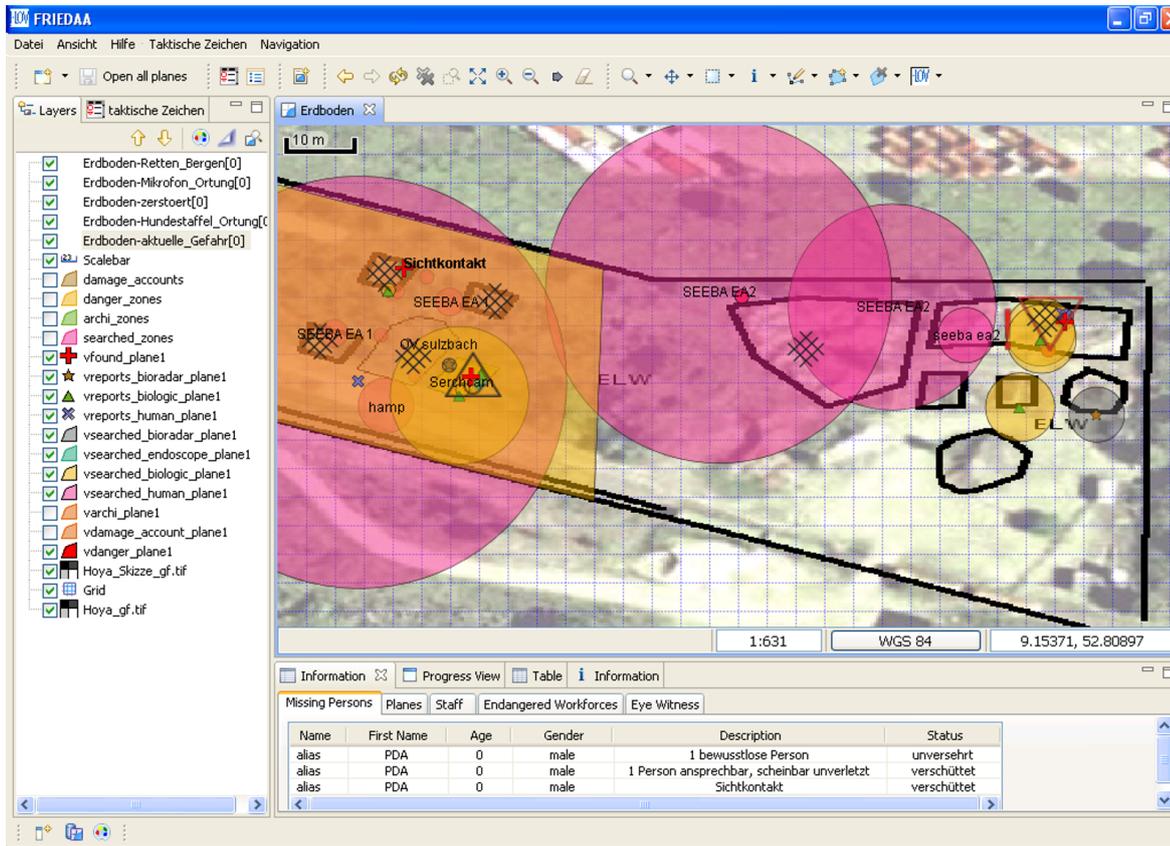
(c) Videoendoskop *SearchCam 3000*.

(d) Radarsystem.

**Abb. 5.9:** Synergie zwischen biologischer und technischer Ortung in Hoya 2011.

Die Erkundung dauerte 25 min und wurde wie im ersten Lauf durch zwei Gruppen durchgeführt. Die biologische Suche nahm 28 min in Anspruch, während derer technische Ortungsmaßnahmen an mehreren Orten simultan durchgeführt wurden. Die Suchhunde schlugen an allen Orten korrekt an, unter denen sich Verschüttetendarsteller befanden. Anders als beim ersten Durchlauf wurden diese Positionen mit technischer Ortung überprüft. Einer der Verschüttetendarsteller (Opfer 2), der sich in einem Tunnel unter aufeinander geschichtete Betonplatten befand, wurde durch einen Suchhund detektiert und mit der Ortungssonde nachgewiesen (Abb. 5.9(b)). Mit dem starren Videoendoskop (s. Abb. 5.9(c)) wäre in dieser Situation kein Nachweis möglich gewesen, da der Zugang zum Verschütteten zu verwinkelt war. Die beiden anderen Verschüttetendarsteller konnten mit dem Radarsystem nachgewiesen werden, was „weniger“ Ungewissheit über ihre Präsenz und eine Eingrenzung des Aufenthaltsortes zur Folge hatte. Nach Bergung der Verschütteten, wurde das Bioradar nochmals angewandt, um sicher zu stellen, dass sich kein weiterer Verschütteter an dieser Position aufhält. Die Lage-darstellung in der PC-Anwendung am Ende des zweiten Lauf wird in Abb. 5.10 gezeigt. Die Gesamtdauer des Einsatzes war 77 min, in denen 54 Meldungen an den Server des

Demonstrator-IT-Systems übermittelt wurden.

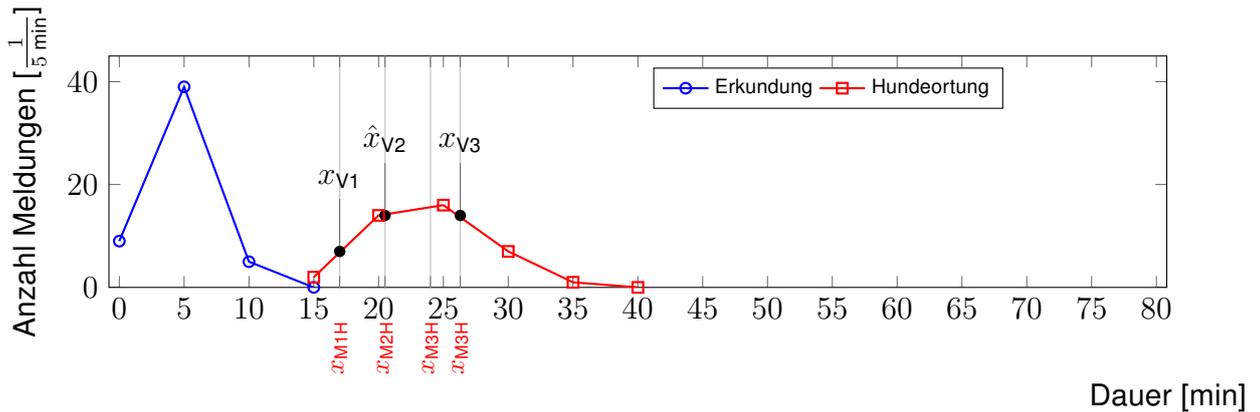


**Abb. 5.10:** Lagedarstellung aller in Demonstrator-IT-System gesammelten Informationen am Ende des Laufes, der durch I-LOV-Technologien unterstützt wurde. Im unteren Bildbereich sieht man die Vermisstenliste. Links befinden sich die verschiedenen Schichten, die auch als Kategorienfilter angesehen werden können. Zentral befindet sich die geographische Lagedarstellung.

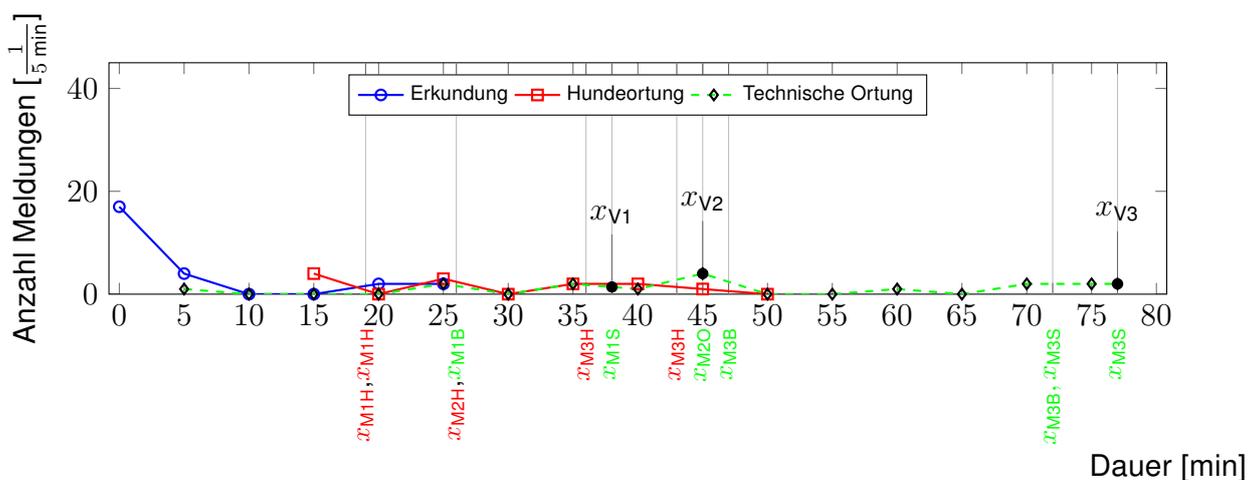
### Vergleich von ersten und zweiten Lauf

Der Einsatzablauf beider Läufe wird anhand der Anzahl, der Kategorie und der Zeitstempel von Meldungen in Abb. 5.11 dargestellt. Diese Darstellung erlaubt den Vergleich beider Läufe. Im Lauf ohne technische Ortung konnte für den zweiten Verschüttendarsteller nur eine geschätzte Verschüttetenposition  $\hat{x}_{V2}$  ermittelt werden, da kein direkter Zugang geschaffen werden konnte und keine technische Ortung zur Verfügung stand, um die Position zu verifizieren. Der Vergleich beider Läufe zeigt, dass die längere Dauer des zweiten Durchlaufs vor allem durch den Einsatz von technischen Ortungsmethoden bedingt ist. Der Unterschied im gesamten Meldungsaufkommen ist, dass im ersten Lauf mehr virtuelle Gefahren (+15) und Schadenselemente (+29) übermittelt wurden, auch wenn insgesamt weniger Meldungen bezüglich Betroffener (-8) eingingen. Ein direkter Vergleich der Leistung der beiden Durchgänge ist anhand der Tabelle 5.3 möglich.

Die Suchleistung kann mit der abgesuchten Fläche pro Zeit ausgedrückt werden. Als Anhaltspunkt für die Suchleistung von Menschen im Vergleich zur biologischen Ortung wurden die Mittelwerte aus den beiden Durchgängen in Hoya gebildet. Dies ergibt für die



(a) Lauf mit Hundeortung, aber ohne Unterstützung von Ortungstechnologien.



(b) Lauf mit Unterstützung aller verfügbaren Ortungsmethoden.

**Abb. 5.11:** Diese Darstellung zeigt den Ablauf zweier Ortungsübungen anhand des Meldungsaufkommens. Das Diagramm oben zeigt die Übung ohne die Unterstützung von technischen Ortungsmethoden. Das Diagramm unten zeigt das Ergebnis mit derer Unterstützung. Die Kurve des Meldungsaufkommens ist nach Phase des Einsatzes geteilt. Bei der Ortungsübung ohne technische Ortung werden die Phasen Erkundung und Hundeortung unterschieden. Bei der anderen kommt die Phase technische Ortung hinzu.

Die Zeitpunkte während der Übungen, bei denen positive, ungewisse Ortungsbefunde  $x_M$  erfasst worden sind, werden unterhalb der Abszisse dargestellt. Die Indizes  $i$  und  $j$  der Variable  $x_{Mij}$  geben an, um welchen betroffenen Verschüttetendarsteller ( $i \in \{1; 2; 3\}$ ) und welche Suchmethode es sich respektive handelt ( $j \in \{(S)earchCam; (O)rtungssonde; (H)undeortung; (B)ioradar\}$ ).

Die Zeitpunkte des Auffindens von Verschüttetendarstellern werden mit  $x_V$  direkt oberhalb der Kurve markiert, die der Phase entspricht, während der sie gefunden worden sind. Dabei entspricht die Nummer im Index der Variable  $x_V$  der des jeweiligen Verschüttetendarstellers.

Suchleistung in einem völlig zerstörten Areal 1,4 ha/h für die menschliche und 1,1 ha/h für die biologische Suche. Das Ergebnis der biologischen Ortung beinhaltet das zweifache Absuchen des ganzen Areals mit zwei unterschiedlichen Suchhunden. Es sei darauf hingewiesen, dass diese Zahlen für die Suchleistung nur in einem völlig zerstörtes Areal

**Tabelle 5.3:** Evaluation des Einflusses von I-LOV-Ortungstechnologien auf die Leistung eines Sucheinsatzes durch Vergleich zweier Läufe.

<i>Lauf</i>	<i>Gemittelte Anzahl Befunde pro Opfer</i>	<i>Mittlere Dauer bis erster positiver Befund [min]</i>	<i>Anzahl Meldungen</i>	<i>Dauer Ortungseinsatz [min]</i>
Ohne technische Ortung	1,3	21,7	93	43
Mit technischer Ortung	4,0	24,0	54	77

gültig sind und nicht für andere Umgebungen wie beispielsweise Waldgebiete gelten.

### 5.1.5 Umfrageergebnisse zur Einsatztauglichkeit des Demonstrator-IT-Systems

Die Ergebnisse der Umfragen zur Einsatztauglichkeit nach den Feldtests in Hoya und Holzwickede sind aufgrund der geringen Anzahl an Antworten mit Vorsicht aufzunehmen, da sie nicht statistisch signifikant sind. Sie basieren auf den Erfahrungen in Feldtests, die in den Abschnitten 5.1.3 und 5.1.4 präsentiert wurden. Erst weitere Feldtests und die Anwendung der neuen Technologien während Ortungseinsätzen im Ernstfall wird eine objektive Bewertung der Einsatztauglichkeit und des -werts ermöglichen.

Die THW Leitung hat einen generischen Fragebogen Einsatzkräften zur Verfügung gestellt, der für die Evaluation aller I-LOV-Technologien der Gleiche war (s. Anhang A.4). Da der Fragebogen vor allem für Ortungstechnologien gedacht ist, waren einige Fragen zur Evaluation des Demonstrator-IT-Systems ungeeignet. Des Weiteren wurde eine weitere Softwarelösung evaluiert, die im Rahmen des I-LOV-Projektes entstanden ist. Die Aussagekraft bezüglich des IT-Systems durch die größtenteils kombinierte Evaluation wird dadurch geschwächt. Neun solcher Fragebögen wurden von Ortungsgruppen des THW (bestehend aus 2–6 Einsatzkräften) nach dem Feldtest in Hoya ausgefüllt, der in Abschnitt 5.1.4 beschrieben worden ist. Dieser Fragebogen war in folgende drei thematische Blöcke untergliedert: Einweisung, Handhabung und Einsatzwert.

Damit eine klare Aussage über die Erfahrungen mit dem IT-System gesammelt werden konnte, wurde eine spezifischere Befragung (s. Abschnitt A.3) konzipiert. Diese Befragung wurde online ausgeführt. Acht Personen haben an dieser Umfrage teilgenommen, die zwei Ziele hatte: 1) die Evaluation der Nutzerakzeptanz; 2) die Identifikation von Verbesserungspotentialen. Der Fragebogen ist in die vier folgenden thematischen Blöcke untergliedert: 1) Erfahrung mit computergestützter Einsatzbewältigung, 2) PC-Anwendung, 3) PDA-Anwendung und 4) Fragen zur Zukunft computergestützter Einsatzbewältigung.

Es folgt eine gemeinsame Auswertung der Antworten beider Befragungen.

### Einweisung in die Bedienung der Anwendungen

Ein geringer Einweisungsaufwand in eine Computer Anwendung weist auf ihre intuitive Bedienung hin. Das Einsatzspektrum der Anwendungen und die Handhabung der Anwendungen kann während einer Einweisung von ca. 10-30 min Dauer deutlich gemacht werden, was als akzeptabel bewertet worden ist.

### Handhabung

Der Aufbau des IT-Systems wurde als weitgehend problemlos und flexibel eingestuft. Die Einsatzkräfte waren von der Transportfähigkeit überzeugt und stufen den Aufwand bei der Instandhaltung als gering ein. Des Weiteren sind die Lösungen während eines Einsatzes auch in unwegsamem Gelände zu erhalten.

Im Folgenden wird die Bewertung der Handhabung der PC- und PDA-Anwendungen getrennt betrachtet.

**PC-Anwendung für die Führungsstelle** Folgende Antworten basieren vorwiegend auf der online Umfrage, die für die PC-Anwendung nur sechs Teilnehmer ausgefüllt haben.

Allgemein betrachtet haben die Einsatzkräfte wenig Erfahrung mit der Erfassung von Information mit der PC-Anwendung gemacht, da sie vorwiegend für die Erfassung die PDA-Anwendung vor Ort benutzt haben. Die Ergebnisse der online Umfrage erstaunen deshalb nicht. Bei allen Antworten ist eine hohe Stichprobenvarianz zu beobachten. Sie beträgt mehr als eine Bewertungsstufe. Eine nur tendenziell positive Bewertung bei der Erfassung von Information ist zu verzeichnen. Frappierend ist dabei, dass die strukturierte Erfassung von Augenzeugenberichten tendenziell negativ bewertet worden ist. Die Aussagekraft dieser Bewertung relativiert sich in Anbetracht dessen, dass kein Augenzeugenbericht während der Feldtests erfasst wurde. In den Übungsszenarien hatte das THW keine Augenzeugen vorgesehen.

Bei der Darstellung von Information verhält es sich ähnlich, nur dass die Stichprobenvarianz noch größer sind. Eine Ausnahme stellt die Schichtenverwaltung dar, der die Teilnehmer geschlossen neutral gegenüberstanden. Bezüglich der Darstellung der Kontaktdaten von Augenzeugen in einer Tabelle waren sie ebenfalls neutral. Die Meinung hat sich nicht klar herauskristallisiert, wenn man die höhere Standardabweichung berücksichtigt. Hierbei sei erwähnt, dass in Übungen der Vorteil einer Verwaltung von Augenzeugen nicht deutlich werden konnte, da keine Augenzeugen erfasst wurden. Die Vermisstenliste wurde tendenziell als positiv eingestuft. Der Zweck der Darstellung von mehreren Ebenen wurde anscheinend nicht verstanden. Wobei man hierbei in Betracht ziehen sollte, dass die Erfahrungsgrundlage der Teilnehmer bei der Bewertung keine komplexen Strukturen beinhaltet, die eine „2D+1“ Darstellung erforderlich gemacht hätte. Die Darstellung der gefährdeten Einsatzkräfte wurde als wenig übersichtlich eingestuft, wobei hier die Meinungen deutlich auseinander gingen (Stichprobenvarianz 1,9 Bewertungsstufe). Dieses Ergebnis lässt sich unter Berücksichtigung der Kommentare und der Bewertung der Nützlichkeit von Informationsverarbeitung besser verstehen. Die Einsatzkräfte erachten zwar diese Funktion als nützlich, dennoch fordern sie die noch fehlende Warnung der Einsatzkräfte vor Ort über die PDA-Anwendung. In der aktuellen

Ausbaustufe des Demonstrator-IT-System wird bisher nur die Führungsstelle über die vermeintliche Gefährdung in Kenntnis gesetzt.

Die zentrale Verarbeitung aller ortungsrelevanten Informationen überzeugt. Die Fusion von Ortungsergebnissen wird mit hoher Übereinstimmung als nützlich eingestuft. Dieses Ergebnis ist jedoch mit großer Vorsicht aufzunehmen. Auch wenn die in [4] beschriebene Methode die Ortungsbefunde fusioniert hat, so ließ die Einsatzleitung des Feldtests dieses Fusionsergebnis unberücksichtigt. Die Bedeutung der Fusionsergebnisse war im Feldtest in Hoya nicht von Belang, da Bergungsmaßnahmen nicht Teil der Übung waren. Somit konnte der Einfluss der Funktion Informationsfusion auf die Entscheidung „Einleiten Bergungsmaßnahmen“ und somit der Einsatzeffizienz im Feldtest nicht evaluiert werden.

Den Nutzen der Berücksichtigung bereits erfasster Informationen in den Eingabemasken stand man neutral gegenüber. Diese Bewertung lässt sich wahrscheinlich ebenfalls auf die geringe Erfahrung bei der Erfassung von Information mit der PC-Anwendung zurückführen.

Die Bedienung der PC-Anwendung allgemein wurde im Mittel als gut eingestuft (Spanne: von sehr gut bis befriedigend).

**PDA-Anwendung für Einsatzkräfte** Es ist wichtig, dass Einsatzkräfte bei der Bewältigung ihrer Aufgaben vor Ort nicht gestört werden. Deshalb ist das Ergebnis hervorzuheben, dass die PDA-Anwendung kaum als störend empfunden wird. Die Einsatzkräfte sind im Allgemeinen von den Vorteilen der PDA-Anwendung überzeugt. Ihre Bedienung erfüllt ebenso ihre Anforderungen, wobei an dieser Stelle bemerkt sei, dass der Bildschirm bei Sonnenlicht noch besser lesbar sein könnte. Als großen Vorteil erachten einstimmig alle Befragten die vereinfachte Mitteilung von Positionen. Auch der automatische Vermerk mit einem Zeitstempel bei der Erfassung und die Möglichkeit der Nachreichung von Information wird als vorteilhaft eingestuft. Eine Hilfestellung dabei, nichts Wesentliches zu vergessen, scheint die PDA-Anwendung nicht zu sein.

### **Einsatzwert – Nutzen**

Der Einsatzwert ist ein Maß, mit dem die Effektivität von Einheiten abgeschätzt wird. Im Kontext einer unterstützenden Funktion, wie beispielsweise einem Computerprogramm, ist der Einsatzwert gleich bedeutend mit der Nützlichkeit. Die Teilnehmer bei der online Umfrage wurden nach dem Einsatzwert vom Demonstrator-IT-System befragt. Sie sind grundsätzlich vom Vorteil der Nutzung dieses IT-System bei der Bewältigung eines Ortungseinsatzes überzeugt. Sie sehen jedoch noch nicht den Vorteil einer Beschleunigung eines Einsatzes. Wie triftig bemerkt wurde, kann das noch nicht fundiert bewertet werden, da die Übungsszenarien keine Bergung mit einbezogen haben und somit nur annähernd realistische Einsätze simuliert werden konnten. Der Vorteil einer IT-Unterstützung liegt neben der genaueren Lagedarstellung auch in der Vergrößerung der Sicherheit der Einsatzkräfte. Dieses Potential haben die Befragten erkannt.

Die Befragten sind vom Potential computergestützter Bewältigung von Unglücken überzeugt. Sie erachten, dass der Einsatz einer ausgereiften Version des Demonstrator-IT-Systems für realen Einsätzen vorteilhaft ist. Für eine wissenschaftlich belastbare Aussage müssten jedoch mehrere Ortungsgruppen mit dem System ausgestattet werden und über mehrere Jahre Erfahrungen sammeln.

## 5.2 Evaluation von Ortungsmethoden

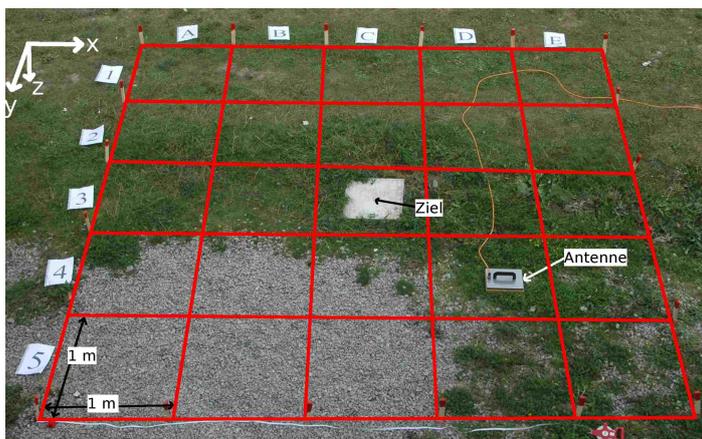
Im Rahmen des I-LOV-Projektes wurden vier Ortungstechnologien entwickelt. Es wurden folgende drei in simulierten Ortungseinsätzen unter anderem in Hoya 2011 evaluiert, die zum Ziel das Auffinden von Verschütteten hatten: Radar-Detektionsmethode, Erkundungsroboter und Ortungssonde. Die gesammelten Erfahrungen mit diesen Ortungsmethoden werden im Folgenden vorgestellt. Die Handyortung wurde in simulierten Ortungseinsätzen nicht evaluiert und bleibt deshalb an dieser Stelle außen vor.

### 5.2.1 Evaluation der Messungen mit Radar-Detektionsmethode

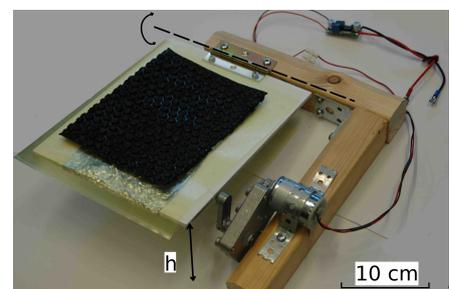
Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Radar-Detektionsmethode in einem Feldversuch erprobt. Es wurde versucht die Aussagekraft des 3 dB Öffnungswinkels von  $\alpha_M = 60^\circ$  zu evaluieren. Aus diesem Grund wurde der Messaufbau so ausgelegt, dass die laterale Auflösung Tiefen unabhängig bestimmt werden konnte. Der Boden des Messaufbaus war aufgeschütteter Schotter (s. Abb. 5.12(a)). Der Schotter ist im schlechtesten Fall mit kompaktem Beton bezüglich seiner elektromagnetischen Eigenschaften vergleichbar. Aus diesem Grund wurde die maximale Reichweite einer elektromagnetischen Welle der Frequenz des Bioradars auf 3,1 m angenommen (s. Abb. 3.9 im Kapitel 3).

Das Messfeld war ein  $5 \times 5 \text{ m}^2$  großes Feld, das in Quadrate einer 1 m Kantenlänge unterteilt war, wie es Abb. 5.12(a) zeigt. Das Bioradar wurde benutzt, um einen simulierten Verschütteten zu finden. Die Simulation bestand darin, die Bewegung des Brustkorbs nachzuahmen. Dies geschah mit der Apparatur, die in Abb. 5.12(b) dargestellt ist. Der Hub der Bewegung des mobilen Radarquerschnitts der Apparatur war quasi parallel zur Erdoberfläche ( $xy$ -Ebene) ausgerichtet, betrug eine Höhe von  $h = 8 \text{ cm}$  und eine Frequenz von 0,23 Hz.

Die Antenne des Radarsystems wurde jeweils in das Zentrum des Rasters positioniert und entweder senkrecht nach unten (parallel zur  $z$ -Achse) oder angewinkelt ausgerichtet.



(a) Raster des Messfelds, in dessen Zentrum das simulierte Ziel in einer Tiefe von  $d = 0,7 \text{ m}$  positioniert wurde. Die Antenne des Bioradars ist ebenfalls dargestellt.



(b) Eine mit Aluminiumfolie beschichtete Platte simuliert die Bewegung des Brustkorbs eines Verschütteten.

**Abb. 5.12:** Messaufbau des Experiments mit dem Bioradar.

Es wurden 30 Messungen durchgeführt, deren Ergebnisse im Anhang zu finden sind (s. Tabelle A.3 auf S. 162).

Die Auswertung einer Messreihe basiert auf zwei Annahmen:

- Die Bewegung der Apparatur entsprechen der wahrhaftigen Bewegung des Körpers eines Verschütteten.
- Bei allen Messungen ist die Länge der Projektion des Vektors zwischen Antennen- und Apparaturposition auf die longitudinale Achse der Antenne immer kleiner als die maximale Reichweite der elektromagnetischen Wellenausbreitung im Medium. Aus diesem Grund kann angenommen werden, dass der Ausschlag des Bioradars nur vom Winkel zwischen dem Vektor und der Achse abhängt.

Die Auswertung stützt sich auf zwei verschiedene Hypothesen bezüglich der Detektierbarkeit im 3 dB Öffnungswinkels von  $\alpha_M = 60^\circ$ :

1. Eine Detektion eines Verschütteten ist nur innerhalb des 3 dB Öffnungswinkels nicht möglich.
2. Eine Detektion eines Verschütteten ist außerhalb des 3 dB Öffnungswinkels möglich.

Tabelle 5.4 fasst für diese zwei Hypothesen die Klassifizierung der Messergebnisse nach der Wahrheitsmatrix (s. S. 29) zusammen.

**Tabelle 5.4:** Klassifikation der 30 Messergebnisse des Experiments in Abhängigkeit von der zwei Hypothesen von möglichen Detektionen.

Hypothese	Anzahl Messungen			
	richtig positiv	falsch positiv	richtig negativ	falsch negativ
1. Detektion nur innerhalb des Öffnungswinkels möglich	2 (6, 7%)	12 (40%)	12 (40%)	4 (13, 3%)
2. Detektion außerhalb des Öffnungswinkels möglich	14 (46, 7%)	0 (0%)	9 (30%)	7 (23, 3%)

Die Sensitivität beträgt 33%, wenn man von der Richtigkeit der ersten Hypothese ausgeht, eine Detektion ist nur innerhalb des Öffnungswinkels möglich.

Im Gegensatz hierzu beträgt die Sensitivität 67% unter der Annahme, dass eine Detektion auch außerhalb des Öffnungswinkels möglich ist. Dies entspricht der zweiten Hypothese.

## Diskussion

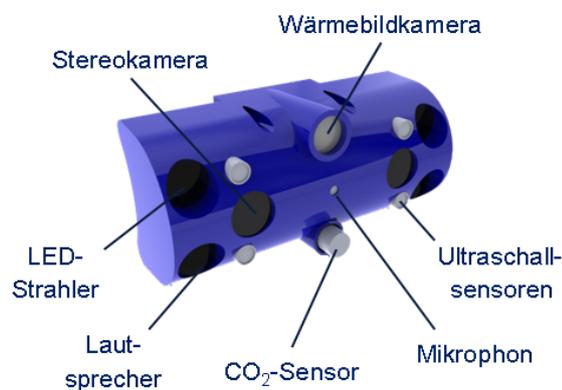
Die Analyse der Ergebnisse dieses Experiments bestätigt, dass Messungen auch außerhalb des  $60^\circ$  Öffnungswinkels möglich sind. Um den Suchbereich einzugrenzen und falsch positive Ausschläge auszuschließen, wäre es deshalb von Vorteil über eine Suchmethode zu verfügen, die eine variable Einstellung des Öffnungswinkels und der Reichweite im Boden erlaubt.

Weitere Experimente müssten durchgeführt werden, um die Signifikanz der Aussage zu erhöhen. Der Einfluss der Entfernung, des Mediums und des Radarquerschnitts müssten ermittelt. Dies war in dieser Arbeit nicht möglich. Aus diesem Grund sei an dieser Stelle auf die Arbeiten von *Nezirovic* [149] verwiesen.

### 5.2.2 Evaluation des Erkundungsroboters Moebhiu<sup>2</sup>s

Ein mobiler Roboter sollte so konstruiert, entwickelt und gebaut sein, dass er den Rettungskräften helfen kann, unter Trümmern nach lebenden Personen zu suchen, gerade dort, wo es für die Rettungskräfte eine zu große Gefahr darstellen würde. Der im Rahmen des I-LOV-Projektes entwickelte Erkundungsroboter „Moebhiu<sup>2</sup>s“ wurde bezüglich dieser Anforderung evaluiert. Die Ergebnisse dieser Evaluation werden im Folgenden vorgestellt.

Der Erkundungsroboter ist mit CO<sub>2</sub>-Sensoren, Ultraschallsensoren, zwei „Charge-coupled Device“ (CCD)-Kamera<sup>1</sup> und einer Wärmebildkamera ausgestattet, wie es Abb. 5.13 zeigt. Für eine detaillierte Spezifikation der Sensoren sei auf den I-LOV Schlussbericht verwiesen ([7] s. S. 53 ff.).



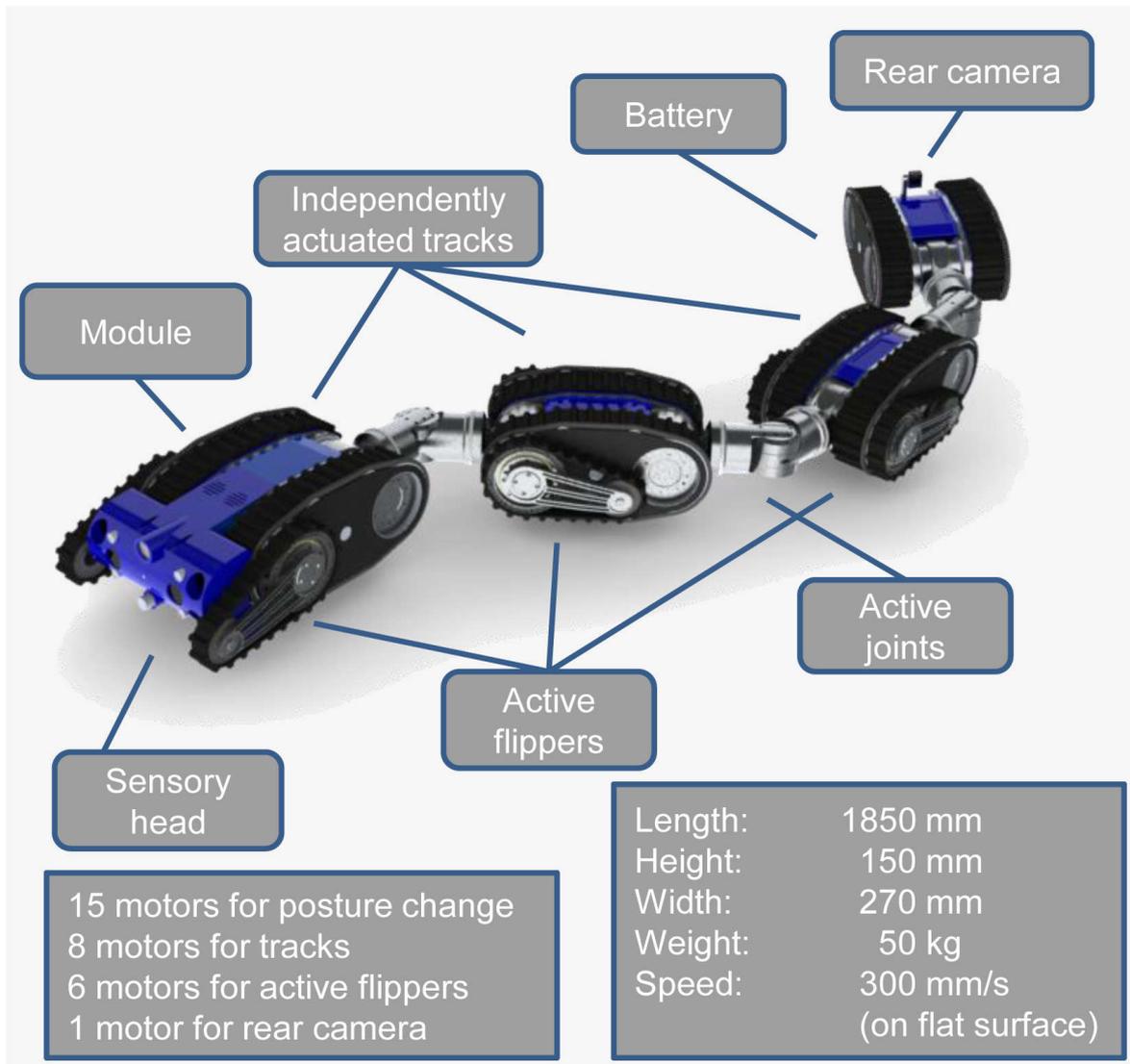
**Abb. 5.13:** Im Kopfsegment des Erkundungsroboters Moebhiu<sup>2</sup>s eingebaute Sensoren zur Detektion und Lokalisierung von Verschütteten.

Diese Sensoren ermöglichen nicht nur die Detektion von Verschütteten, sondern auch die Navigation des Roboters in Trümmern. Der Roboter besteht aus vier Modulen, die über bewegliche Gelenke miteinander verbunden sind. Diese weisen fünf Rotationsfreiheitsgrade auf und können sich um 270° bewegen. Die Aneinanderreihung der Module ergibt zusammen die Form einer Schlange (s. Abb. 5.14). Der Roboter wird über einen Lithium-Polymer-Akku versorgt, was es ihm bei voller Last erlaubt, bis zu 31 min lang zu arbeiten. Von einem zentralen PC aus wird der Roboter entweder über ein 2.4 GHz-WLAN-Signal oder eine LAN-Verbindung kontrolliert und seine Sensoren ausgelesen.

Die Bewegungen des Roboters werden über einen Joystick sowie ein intelligentes Bewegungssystem gesteuert, welches dem Roboter die Möglichkeit gibt, Treppen zu steigen und Hindernisse zu erkennen und zu überwinden. Es gibt zusätzlich noch andere Funktionen wie das Übertragen von Videobildern und die Detektion von Verschütteten durch Messung der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der ausgeatmeten Luft. Der Roboter wird durch einen eingebetteten PC gesteuert, um die Bewegungen der Motoren und Gelenke des Roboters semi-autonom zu kontrollieren.

Der Roboter wurde auf der simulierten Unglücksstelle in Hoya getestet. Dazu wurde

<sup>1</sup>Eine der beiden Kameras (nicht in Abb. 5.13 dargestellt) ist rückwärts gerichtet, um eine Steuerung aus einem Kanalsystem zu ermöglichen, in dem das Wenden nicht möglich ist.



**Abb. 5.14:** Der schlangenförmige Erkundungsroboter Moebhiu<sup>2</sup>s.

er in zwei verschiedenen Umgebungen betrieben um seine Manövrierbarkeit und Geländetauglichkeit auszuwerten.

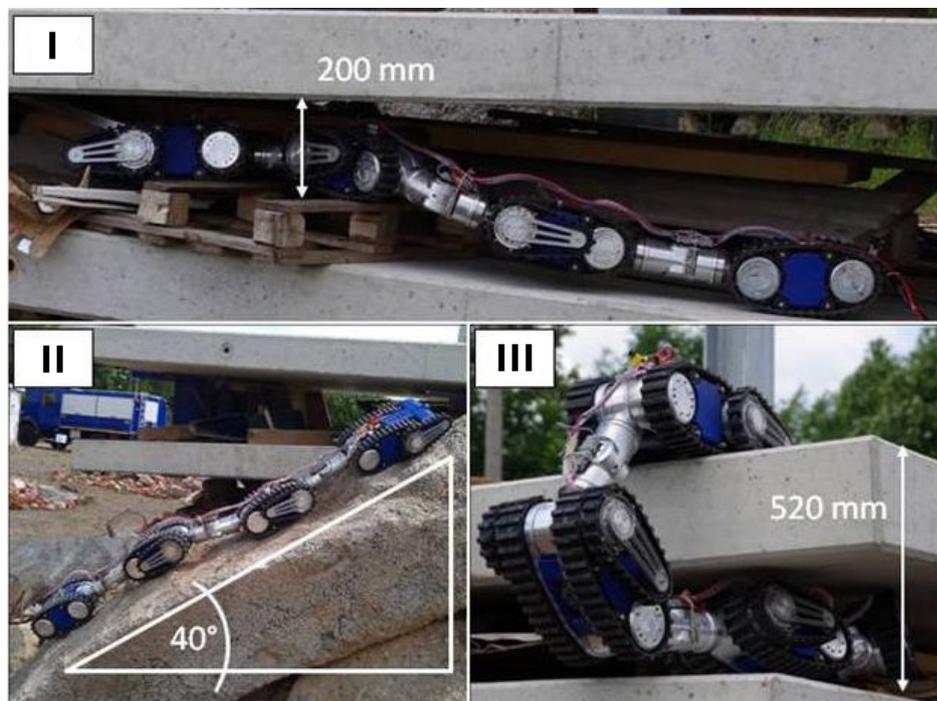
Im ersten Aufbau wurde der Roboter von einem einzigen Bediener durch ein Kanalsystem gelenkt, um den einen Verunglückten mimenden Schauspieler zu suchen. Das Kanalsystem ( $\varnothing 0,7$  m, s. Abb. 5.15) stellte anspruchsvolle Anforderungen bezüglich der Manövrierbarkeit, da der Roboter eine absteigende und aufsteigende Stufe von 0,2 m zu überwinden hatte, während er um eine Kurve mit maximal erlaubtem Radius von 0,8 m fahren musste. Die Beweglichkeit des Roboters war ausreichend um diesen Aufbau zu bewältigen.

Im zweiten Aufbau wurde der Roboter genutzt, um eine horizontal eingestürzte Betonplattenstruktur (s. Abb. 5.16) zu erkunden. In dieser Art des Aufbaus wurden charakteristische Fähigkeiten wie Ausbreitung durch enge Weghöhen, Überwindung eines steilen Hanges, rückwärts zu einem anderen Trümmerkegel klettern und Überwindung von Spalten erfolgreich ausgewertet. Die besten Ergebnisse sind in Tabelle 5.5 zusammengefasst.



**Abb. 5.15:** Feldversuche mit dem Erkundungsroboter Moebhiu<sup>2</sup>s im Kanalsystem an der THW Bundesschule in Hoya, 2011.

mengefasst.



**Abb. 5.16:** Feldversuche zur Geländetauglichkeit des Erkundungsroboters Moebhiu<sup>2</sup>s. Dargestellt ist seine Mobilität in verschiedenen Szenarien: (I) enger Weg, (II) steile Rampe und (III) rückwärts Klettern.

Die vorgestellten Hindernisse konnten alle vom Erkundungsroboter erfolgreich bewältigt werden. Ein Erkundungsroboter ist insofern eine wichtige Ergänzung zu traditionellen Ortungsmethoden, da er neben der Suche nach Verschütteten auch die Inspektion des baulichen Zustands einer Struktur erlaubt, die Menschen aus Gefahrengründen nicht übernehmen können. Die Detektion von Verschütteten erfolgte in den Feldversuchen optisch. Tests zur Detektion von Verschütteten mittels des CO<sub>2</sub> Sensors in Realbedingungen sollten weiter untersucht werden.

Die Notwendigkeit eines Erkundungsroboters lässt sich an den jüngsten Erfahrungen während der Katastrophenbewältigung im Daiichi Kernkraftwerk 2011 veranschaulichen.

**Tabelle 5.5:** Beste Leistung bezüglich der Geländetauglichkeit des Roboters Moebhiu<sup>2</sup>s.

<b>Parameter</b>	<b>Wert</b>
Min. Wegbreite	0,3 m
Min. Weghöhe	0,2 m
Min. Gier-Radius	0,6 m
Min. Nick-Radius (rückwärts Klettern)	0,25 m
Max. Steilheit	60°
Max. Hindernishöhe	0,8 m
Max. Spaltenbreite (auf glatter Oberfläche)	0,6 m

chen.

*Nagatani* hat folgende Missionen genannt, die mit dem Erkundungsroboter „Quince“ im zerstörten Daiichi Kernkraftwerk bewältigt wurden [144]:

- Radioaktive Dosismessungen
- Visuelle Inspektion des baulichen Zustands des Kernkraftwerkes
- Anbringung von Wasserniveausensoren (gescheitert)

Auf Grund einer unzureichenden kabellosen Kommunikationsinfrastruktur vor allem innerhalb des Daiichi Reaktors wurden die Roboter in Kabel gebundenem Modus gesteuert. Es wurde versucht, eine kabellose Netzabdeckung mit nur einem Access Point<sup>2</sup> zu realisieren. Die Netzabdeckung war ungenügend, wie es auch die Feldversuche in dieser Arbeit gezeigt hat (s. Abschnitt 5.1.3 auf S. 92). Anscheinend wurde kein skalierbares ad-hoc WLAN-Netzwerk aus mehreren Access Points wie bei I-LOV eingesetzt (s. S. 86). Fraglich bleibt, ob solch eine kabellose Kommunikationsinfrastruktur auch innerhalb eines Reaktorgebäudes zum Einsatz kommen kann. Den Vorteil einer kabellosen Steuerung von Robotern unterstreichen die Probleme, die auf die Kabel gebundene Kommunikation zurückzuführen sind. Ein Roboter musste beispielsweise aufgegeben werden, weil dessen Kabel sich derart verfangen hatte, dass keine Bergung mehr möglich war.

Bemerkenswert war auch die Erkenntnis, dass die Treppengängigkeit der meisten Roboter nicht ausreichte. Die bisher maximale Anforderung von 40° musste auf 42° korrigiert werden, da die Treppen im Kernkraftwerk diese Steilheit aufweisen. Wie bereits gezeigt, bewältigt Moebhiu<sup>2</sup>s solche Steigungen problemlos.

Eines der Hauptprobleme bei der Katastrophenbewältigung in Japan war die Bedienbarkeit von unbemannten Systemen. Spezialisten wurde der Zutritt zum Areal meist verwehrt. Aus diesem Grund mussten nach einer zeitlichen beschränkten Einweisung Laien die Roboter bedienen.

Das Ausmaß der Katastrophe bedingt durch das Tōhoku Erdbeben hat die Rettungskräfte gänzlich überfordert, wobei der Hauptpunkt das Unglück im Daiichi Kernkraftwerk war. Dort kamen einige Erkundungsroboter zum Einsatz.

*Asama* hat dargestellt, dass die Anstrengungen in Roboter-Forschungsprogrammen der achtziger Jahre fälschlicherweise eingestellt wurden und die entwickelten Roboter

<sup>2</sup>WLAN 2,4 GHz mit 1 W (Spezialgenehmigung von der Aufsichtsbehörde erhalten) und einem Verstärker Contec FX-DS540 <http://www.contec.com>.

deshalb nicht eingesetzt werden konnten [22]. Aus diesem Grund kamen folgende kommerzielle Roboter zum Einsatz:

- T-Hawk von Honeywell samt Pilot für visuelle Außenerkundung des Zustands (ein Absturz über Reaktor)
- Packbot, Warrior von iRobot mit CBRNE-Sensorik. 30 Sv/h wurden im Inneren des Reaktors gemessen.
- Talon und Dragon Runner von QinetiQ mit CBRNE-Sensorik

Die Flugdrohnen erwiesen sich für Außenansichten als nützlich. *Asama* schlägt auch die Entwicklung von kleinen Flugdrohnen vor, die zur Erkundung innerhalb eines Gebäudes eingesetzt werden könnten.

Fraglich bleibt der Nutzen von autonomen Robotersystemen. Alle Robotersysteme wurden allenfalls teilautonom eingesetzt: beispielsweise Höhenhaltung bei unbemannten Flugobjekten und Teilfunktionen beim Treppensteigen.

Erkundungsroboter (beispielsweise Quince vom IRS [www.rescuesystem.org](http://www.rescuesystem.org), während der Konferenz vorgestellt) wurden nach langjährigen Anstrengungen erstmals im Daiichi Kernkraftwerk eingesetzt, um Erkundungen und Radioaktivitätsmessungen durchzuführen. Diese sind als mobile Bewegungsplattformen zu verstehen, auf die verschiedene Anwendungen montiert werden könnten. Auch wenn derzeitige Erkundungsroboter weitestgehend geländegängig zu sein scheinen, so sind sie derzeit jedoch weder erfolgreich zur Suche Verschütteter eingesetzt worden, noch in der Lage diese zu bergen. Die durch den Roboter mobilen Anwendungen müssen weiter entwickelt werden. Diese Anforderung wird durch die Auszeichnung des Beitrages zu I-LOV (s. [8]) bestätigt, die im I-LOV-Projekt zu Endnutzer orientierten Entwicklungen geführt hat. Diese brachte eine geländegängige Bewegungsplattform mit gleichzeitiger Entwicklung der Anwendung Verschüttetendetektion hervor.

Der Roboter *Moebhiu<sup>2</sup>s* ist in seiner derzeitigen Form als erstes Labormuster des zukünftigen praxistauglichen Systems anzusehen. Er eignet sich jedoch hervorragend in Forschung und Lehre dafür, die Vorteile, aber auch die derzeit noch geltenden Beschränkungen, beim Einsatz eines Roboters in einem Ortungsszenario zu untersuchen.

*Murphy* stellte 2011 während eines Vortrags des Symposiums „Safety, Security, and Rescue Robotics“ (SSRR2011) dar, dass 80% aller Überlebenden untrainierten Personen vor Ort, in den ersten 48–72 h gerettet werden [140]. Sie bestätigt somit andere Quellen wie [75, 116]. Die Suche nach überlebenden Verschütteten durch Roboter, die oftmals erst viel später zum Einsatz kommen können, hat daher ihrer Meinung nach nicht viele Erfolgsaussichten. Aus diesem Grund erachtet *Murphy* die Klärung der Frage wichtig, welche Aufgaben und Situationen sinnvollerweise durch einen unbemannten Roboter bewältigt werden sollten.

Der Fokus einer Robotermission sollte weniger auf der Detektion von Verschütteten liegen, sondern eher auf der Erkundung von rauem und engem Gelände. Der Roboter *Moebhiu<sup>2</sup>s* hat gezeigt, dass er für solche Umgebungen besonders geeignet ist. Um weitere Aufgaben zu bewältigen, die die Bewegung von Objekten involvieren (beispielsweise Türen öffnen), braucht der Roboter einen Manipulator in Form eines Armes. Dieser muss beim Roboter *Moebhiu<sup>2</sup>s* noch integriert werden.

### 5.2.3 Ortungssonde

Ortungssonden, die passiv in einen Schutthaufen geschoben werden und über schwenkbare Kameras und Glasfaseroptiken verfügen, werden häufig bei Ortungseinsätzen eingesetzt. Ein Nachteil dieser Technologie ist jedoch die beschränkte Reichweite einer Ortungssonde in dichten Schutthaufen von üblicherweise einigen Metern. Neue Entwicklungen wie die 4 m lange Ortungssonde von *Hatazaki et al.* verbessern die Reichweite, da sie nicht geschoben werden müssen sondern sich aktiv fortbewegen können [99]. Diese Entwicklung weist jedoch den Nachteil auf, dass die Position des Kopfes der Sonde im Schutthaufen nur schwer ermittelbar ist. Die Sonde verfügt über keine Instrumente, die eine Bestimmung der Orientierung ermöglichen, was den Anwendern die Bestimmung der Position quasi unmöglich macht. Diese Problematik wurde von *Casper et al.* aus Erfahrungen bei der Robotererkundung am „Ground Zero“ nach dem Einsturz des World Trade Center festgehalten [48].

Aus diesem Grund wurde eine semi-aktive, wasserdichte Ortungssonde im Rahmen des I-LOV-Projektes entwickelt, die diese Nachteile bewältigt. Die Ortungssonde besteht aus folgenden drei Elementen: Das erste Element ist ein Schlauch von bis zu 30 m Länge ( $5\text{--}30\text{ m} \times \varnothing 65\text{ mm}$ ,  $\sim 1\text{ kg/m}$ ), dessen Steifheit über seinen Luft-Innendruck (max. 8 bar) kontrolliert werden kann (s. Abb. 3.7(d)). Die Sonde kann über diesen Schlauch bis zu 10 m in einen Schutthaufen durch eine einzige Einsatzkraft geschoben werden. Das zweite Element ( $600\text{ mm} \times \varnothing 65\text{ mm}$ ,  $\sim 3,4\text{ kg}$ ) ermöglicht das Kopfelement der Sonde zu positionieren indem Nick- und Gierwinkel eingestellt werden können. Die Videokamera und die LED Beleuchtung sind im Kopfelement ( $300\text{ mm} \times \varnothing 80\text{ mm}$ ,  $\sim 2,5\text{ kg}$ ) und können durch zwei weitere Freiheitsgrade positioniert werden: Roll- und Gierwinkel. Um ein Einfädeln in ein abzweigendes Rohr oder einen Hohlraum zu erleichtern verfügt die Ortungssonde über eine Vorrichtung geringen Durchmessers, die aktiv ausgefahren werden kann. Diese sogenannte „Lindauer Schere“ ist eine aus der Kanalinspektion kommende Technik. Zusätzlich sind in der Ortungssonde Sensoren eingebaut, die die Bestimmung der Orientierung des zweiten und des Kopfelements erlauben. Die Orientierung wird in künstlichen Horizonten dargestellt, sodass der Anwender über ein verbessertes Verständnis der Position der Sonde verfügt. Dieses verbesserte Lagebewusstsein ermöglicht es ihm, die Position eines Verschütteten in einem Schutthaufen genauer zu bestimmen.

Die Feldversuche in Hoya 2011 (s. Abb. 5.9(b)) haben gezeigt, dass mit dieser Ortungssonde eine bisher unerreichte Reichweite in einen Schutthaufen hinein erzielt werden konnte. Auf Grund dieser verbesserten Reichweite konnte die Existenz eines Verschüttetendarstellers verifiziert werden (s. Verschüttetendarsteller 2 in Abb. 5.11(b)). Unter Verwendung eines Videoendoskops (s. Abb. 5.9(c)) war die Verifikation nicht möglich gewesen. Lediglich die Hundeortung konnte ein Indiz bezüglich der Existenz eines Verschütteten liefern (s. Verschüttetendarsteller 2 in Abb. 5.11(a)).

Die Navigationsübersicht mit dem Videobild und den zwei künstlichen Horizonten unterstützt die Einsatzkraft bei der Orientierung im Schutthaufen. Eine gute Orientierung erleichtert die notwendige Zusammenarbeit zwischen zwei Einsatzkräften. Eine den Steuerstand bedienende Einsatzkraft übernimmt die Navigation und steuert die Steifheit der Sonde, während die andere die Ortungssonde in den Schutthaufen schiebt oder zurückzieht.

Erfahrungen haben gezeigt, dass eine im Kopf der Sonde integrierte Beschleuni-

gungssensorik die Bestimmung der Position nicht erlaubt, da das Kopfelement schweren mechanischen Schlägen bei der Fortbewegung im Schutthaufen ausgesetzt ist. Diese Schläge können zu Fehlern bei der Beschleunigungsmessung führen, was eine Orientierung unmöglich macht.

## 5.3 Zusammenfassung

Diese Arbeit basiert auf der Prämisse, dass die Anwendung heterogener Ortungsmethoden nach Katastrophen eine Informationsflut darstellt, die für Entscheidungsträger überwältigend sein kann. Dies hat sich im Laufe dieser Arbeit mehrfach bestätigt. Der Lösungsansatz war daher, einen Ortungseinsatz durch ein IT-System zu unterstützen.

Bis heute wird durch die primär menschliche Erfassung von Informationen in der Führungsstelle nur ein Bruchteil der vor Ort gesammelten Informationen festgehalten. Wird die Erfassung von Informationen jedoch von der Führungsstelle zu den Einsatzkräften vor Ort verschoben, so lassen sich mehr und genauere Informationen festhalten, die für die Erfahrungskonsolidierung essentiell sind. Diese Arbeit hat gezeigt, dass dank dieser Verlagerung und der Unterstützung durch die digitale Informationsverwaltung sowohl der Sprechfunk als auch die Führungsstelle in ihren Dokumentationsaufgaben entlastet und trotzdem mehr Informationen erfasst werden können.

Das Demonstrator-IT-System schafft somit die Voraussetzungen zur Konsolidierung von Erfahrungen, und zwar im Wesentlichen aus folgenden Gründen:

1. Informationen werden direkt am Einsatzort erfasst. Dies erhöht ihre Aussagekraft, da sie genauer festgehalten werden als nach der Funkübermittlung.
2. Informationen werden immer mit Zeitstempel und Raumbezug versehen. Dies ermöglicht eine präzise Aufarbeitung des Einsatzablaufs.
3. Die zentrale Erfassung verhindert den Verlust wertvoller Informationen.

Diese einmal geschaffenen Voraussetzungen können nun genutzt werden, um Erfahrungen zu konsolidieren. Die maschinelle Verarbeitung von Ortungsbefunden benötigt gerade eine belastbare Informationsgrundlage, die wiederum die Fähigkeit zur Erfahrungskonsolidierung voraussetzt. Kenntnisse über die Leistungsstärke von Ortungsmethoden können mit dem Demonstrator-IT-System empirisch verbessert werden, indem Fundorte mit Messergebnissen verglichen werden.

Die Entwicklungen zur Verbesserung des Standes der Technik der Ortungsmethoden wurden in Feldversuchen bestätigt. Die neuen Technologien ergänzen herkömmliche. Die Investition in die Verbreitung solcher Technologien muss sich einer Kosten-Nutzen-Abwägung unterziehen, die jedoch nicht Bestandteil dieser Arbeit ist.

Eine Erhöhung der Messdatenanzahl ist derzeit aufgrund der Zeitknappheit und der Ortungsmethoden nur beschränkt möglich. Werden in Zukunft jedoch Ortungstechnologien auf semi-autonomen Bewegungsplattformen integriert, werden mehr Messergebnisse anfallen. Grund dafür ist zum einen die anvisierte höhere Geschwindigkeit, mit der ein Bereich abgesucht werden kann und zum anderen der mögliche simultane Einsatz von mehreren Agenten. Anstatt eines fokussierten Suchprozesses könnte somit ein systematischer durchgeführt werden, um die Übersehensrate zu verkleinern. Der Dokumentations- und Interpretationsaufwand der Messergebnisse, den eine Führungskraft leisten sollte, vergrößert sich somit im Vergleich zum bisherigen Aufwand. In An-

betracht dieser bevorstehenden Entwicklung erscheint die digitale Unterstützung bei der Informationsverwaltung essentiell.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Diese interdisziplinäre Arbeit befasst sich mit der Steigerung der Effizienz von Ortungseinsätzen in Trümmern und begegnet dieser Problemstellung mit technischen Lösungsansätzen. Bei Ortungseinsätzen in Trümmern muss die Informationsverwaltung den anfallenden heterogenen Informationen gerecht werden. Die ersten drei Kapitel dieser Arbeit stellen die vielfältigen Problemstellungen und die bereits erbrachten Lösungen zur Unterstützung von Sucheinsätzen vor. Ziel dieser Arbeit ist es, das Fundament einer standardisierten, digitalen Verwaltung von Informationen zur Rettung Verschütteter zu schaffen. Hervorzuheben ist, dass sich der Ortungseinsatz in Trümmern in seinen Anforderungen von der Flächensuche unterscheidet.

In Deutschland finden Ortungseinsätze seit dem Zweiten Weltkrieg glücklicherweise nur vereinzelt statt, im Gegensatz zu anderen Gegenden, die beispielsweise einem höheren Erdbebenrisiko ausgesetzt sind. Angesichts dieser Tatsache widmet sich diese Arbeit vor allem der Schaffung von Voraussetzungen für eine Informationsverwaltung, die für die Erfahrungskonsolidierung und somit der Optimierung des Suchvorgangs eingesetzt werden kann. Die Erfüllung dieser Voraussetzungen würde es den Rettungskräften in Deutschland erlauben, aus den Erfahrungen anderer besser lernen zu können.

Die Notwendigkeit dieser Arbeit begründet sich mit dem Bedarf an standardisierter Informationsverwaltung, den Einsatzkräfte zur Bewältigung von Ortungseinsätzen mehrfach geäußert haben. Diese Informationsverwaltung soll insbesondere die Bewältigung der Informationsflut während eines Einsatzes ermöglichen. Hierzu hat diese Arbeit folgende Lösungen erarbeitet und evaluiert:

Es wurde ein Informationssystem als Demonstrator entwickelt, das auf die Anforderungen der Endanwender bei der Trümmersuche zugeschnitten ist. Es bietet somit Funktionen für die Suche nach Verschütteten an. Hauptaugenmerk waren dabei die Erfassung und Darstellung von ungewissen Ortungsergebnissen. Es kann auch für die Flächensuche eingesetzt werden, um den Fortschritt einer Suche zu dokumentieren. Die Funktionalitäten zur Unterstützung einer Flächensuche wie beispielsweise die Bestimmung der wahrscheinlichsten Route eines Vermissten und eine Bestimmung des optimalen Suchplans, der diese geschätzte Route berücksichtigt, sind für die Trümmersuche weniger relevant. Der Grund ist, dass die Position der Vermissten unter Trümmern stationär ist. Besonders zielführend war die enge Zusammenarbeit mit Einsatzkräften, vor allem des THW und mit den Projektpartnern des I-LOV-Projektes, deren aufbereitetes Gedankengut teilweise in dieser Arbeit aufgenommen wurde.

Georeferenzierte Informationssysteme, wie der entwickelte Demonstrator, sind vor allem für Großschadenslagen sinnvoll, wie sich beim Tōhoku Erdbeben in Japan 2011 gezeigt hat. Solche Einsätze sind in Deutschland jedoch relativ selten. Die Notwendigkeit solcher Informationssysteme spiegelt sich im Interesse und der Anerkennung am I-LOV-Projekt der japanischen Forscher wider (s. [8]). Der Aufwand zur Entwicklung maschineller Methoden zur Verarbeitung von Ortungsbefunden ist nicht unbedingt gerechtfertigt, ist eine maschinelle Verarbeitung doch weitab von den kognitiven Leistungen einer menschlichen Verarbeitung entfernt. Um letztere jedoch zu unterstützen, ist die Erfahrungskonsolidierung bezüglich der Genauigkeit und der Gewissheit von Ortungsergebnissen nützlich. Das Demonstrator-IT-System besticht vor allem durch die Möglichkeit, Erfahrungen quantitativ konsolidieren zu können.

In Feldtests fiel die Evaluation des Demonstrators durch Experten für Ortung und Bergung hinsichtlich der Einweisung in die Bedienung der Anwendungen positiv aus, ebenso die Handhabung der Geräte und der Nutzen des Systems während des Einsatzes. Es sei an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass die Genauigkeit der eingesetzten, maschinellen Lokalisierungsinfrastruktur GPS nicht ausreichend war. Deren Verbesserung stand jedoch nicht im Fokus dieser Arbeit. Außerdem ist es bereits Stand der Technik, eine Meter genaue Lokalisierung auch innerhalb von Gebäuden zu ermöglichen. Der Aufwand zum Aufbau einer solchen Infrastruktur muss jedoch den Anforderungen gerecht werden, um in einem realen Rettungseinsatz effizienzverbessernd eingesetzt werden zu können. Diese Arbeit bestätigt die Vermutung, die bei der Analyse der Umfrageergebnisse aufkam, dass georeferenzierte Textnachrichten von Vorteil wären (s. Abschnitt 4.1.3). Die Einfachheit der Lösung zur Erfassung einer georeferenzierten Textnachricht (s. Abschnitt 4.3) weist sowohl ergonomische als auch technische Lösungsmöglichkeiten auf. Deren Umsetzung ermöglicht es, die Nachteile konventioneller Kommunikation über Sprechfunk mit solch einem neuen Kommunikationsmedium zu bewältigen. Dieses neue Kommunikationsmedium erlaubt es ebenso, die Kommunikation von vor Ort erfassten Informationen zu Entscheidungsträgern zu verbessern. Dies ist ebenso von Bedeutung, da Einsatzkräfte mit wenig Ortungseinsatzerfahrung die heutigen Kommunikationsmöglichkeiten nur manchmal als ausreichend erachten. Diese Arbeit zeigt, dass das Lagebild ausführlicher und genauer ist, wenn den Einsatzkräften neben dem konventionellen Sprechfunk eine zusätzliche Kommunikationsmöglichkeit mit georeferenzierten Textnachrichten zur Verfügung steht. Die Führungsstelle kann sich somit bei der Entscheidungsfindung auf ein verbessertes Lagebild stützen. Dies wurde nicht nur ohne Mehraufwand für Einsatzkräfte vor Ort sowie in der Führungsstelle erreicht, sondern auch unter Verringerung des Protokollieraufwands.

## 6.1 Ausblick

Die Relevanz dieser Arbeit für die Effizienzverbesserung von Ortungseinsätzen sollte in zwei Teilaspekte getrennt werden: die digitale Informationsverwaltung sowie die maschinelle Fusion von Informationen zur Schätzung der Existenz und Position von Verschütteten. Erstere kann unmittelbar einer Bewährungsprobe in realen Einsätzen unterzogen werden. Die Entwicklung neuer Methoden zur Informationsfusion hingegen kann ihren Wert unter Beweis stellen, wenn die Methoden vorab an einen realen Einsatz angepasst werden können. Hierzu bedarf es wiederum des IT-Systems, dessen Verwendung in naher Zukunft angestrebt werden soll. Eine Verwendung unter realen Einsatzbedingungen würde es ermöglichen, einen realistischen Rohdatensatz zu erhalten, um angepasste Methoden und Parameter von Messmodellen bestimmen zu können. Überwachtes Lernen zur Erfahrungskonsolidierung sollte in Zukunft weiter erforscht werden.

Die Infrastruktur des IT-Systems ist in weniger als zehn Minuten für einen Einsatzort von einer Fläche von 0,58 ha aufgebaut. Ungeschulte Einsatzkräfte können bereits nach einer kurzen Einführung von wenigen Minuten mühelos georeferenzierte Informationen unter Verwendung des Informationserfassungsgeräts vor Ort erfassen und der Führungsstelle übermitteln. Die Integration des IT-Systems in den konventionellen Ablauf eines Ortungseinsatzes scheint demnach leicht realisierbar zu sein. Die Einsatzleiter müssten ihre bisherigen Vorgehensweisen überdenken, sollten sie an der IT-Unterstützung

interessiert sein. Anstatt ihre Entscheidungen auf konventionellen Lagedarstellungen zu treffen, wäre es wünschenswert, sie zögen die Vorzüge einer digitalen Darstellung und Verarbeitung auch in realen Einsätzen in Betracht. Ihre Schulung bezüglich der PC-Anwendung ist jedoch etwas aufwendiger als die der Einsatzkräfte für das Informationserfassungsgerät. Die PC-Anwendung des Demonstrator-IT-Systems bietet nämlich einen reicheren Funktionsumfang an, um den Anforderungen der Entscheidungsträger bezüglich der Entscheidungsunterstützung gerecht zu werden. Insbesondere die Möglichkeit, ihre Vorgaben in den Verarbeitungsprozess einfließen zu lassen, um Entscheidungsalternativen zu generieren, sollte weiter erforscht werden.

Der begonnene Prozess zur Einführung digitaler Unterstützungssysteme sollte intensiviert werden. Dies würde es ermöglichen, die Verwendung eines solchen IT-Systems während des Einsatzes nicht nur mit dem Argument einer besseren Erfahrungskonsolidierung zu begründen, sondern auch eine kritische Evaluation der Effizienz von realen Ortungseinsätzen vornehmen zu können. Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Evaluation ist grundsätzlich positiv ausgefallen. Es bedarf jedoch noch weiterer Entwicklungsarbeit, um das Demonstrator-IT-System hinsichtlich seiner Funktionalitäten zu erweitern. Die Aktualisierung von Daten in einem standardisierten Validierungsprozess steht beispielhaft im derzeitigen Entwicklungsstand noch nicht zur Verfügung. Die Entwicklung einer solchen Funktionalität bedarf der Einbindung des Informationssystems in die Einsatzorganisation. Diese Integration war im Rahmen dieser Arbeit jedoch noch nicht möglich, da weder das IT-System ausgereift war noch die Behörden und Organisationen mit Schutzaufgaben ernsthaft die Integration in Betracht gezogen haben. Der eingeschlagene, iterative Entwicklungsprozess sollte zukünftig fortgeführt werden, um an dem aktuellen Stand der Arbeiten anzuknüpfen und ein real einsetzbares IT-System zu schaffen. Ebenso ist die Einbindung von weiteren Behörden und Organisationen mit Schutzaufgaben für die Umsetzung eines derartigen Informationsmanagements erforderlich, um das IT-System auf die Bedürfnisse unterschiedlicher Organisationen optimal anzupassen und deren Akzeptanz zu erreichen. Dies ist insofern von Bedeutung, da das THW heutzutage zwar über die Kompetenzhoheit bei der Ortung und Bergung verfügt, jedoch nicht über die Einsatzleitung. Diese wird meistens von der Feuerwehr gewährleistet.

Die Kontroversen hinsichtlich der Robustheit einer Sicherheitsinfrastruktur sollten bei der Entscheidung beachtet werden, ob eine IT-Unterstützung zum Standard hinsichtlich der Einsatzbewältigung wird oder nicht. Zwei gegensätzliche Ansichten gilt es zu differenzieren:

Die Forderung nach einer Sicherheitsinfrastruktur, die sich so wenig wie möglich auf Gerätschaften stützt, stellt die erste Ansicht dar. Begründet wird sie mit dem Argument, eine Katastrophe könnte alles zerstören. Somit müsste die Bewältigung des Einsatzes auch ohne Infrastruktur und hochspezialisierte Gerätschaften, wie dem vorgestellten Demonstrator, möglich sein.

Die zweite Ansicht beinhaltet die Priorisierung der Effizienz eines Einsatzes. Demnach unterstützen Vertreter dieser Ansicht die Einführung einer IT-Unterstützung zur Einsatzbewältigung. Zu unterstreichen ist, dass die Integration eines IT-Systems in den Einsatzablauf mehr Kenntnisse von Einsatzkräften erfordert, als dies bei einer Einsatzbewältigung ohne IT-Unterstützung der Fall ist. Die Ortung und Bergung Verschütteter sollte unter jeglichen Umständen durchführbar sein, egal ob eine IT-Unterstützung zur

Verfügung steht oder nicht.

Da beide Ansichten gerechtfertigt sind, erscheint es dem Autor wichtig, auf eine Einführung einer IT-Unterstützung hinzuwirken, wobei die Erfüllung folgender Forderung jederzeit gewährleistet sein sollte:

Die Einsatzkräfte sollen in der Lage sein, einen Ortungseinsatz auch ohne solch ein IT-Unterstützungssystem bewältigen zu können.

# Liste eigener Veröffentlichungen

- [1] T. Becker, B.-S. Lee, Q. Hamp, and M. Eitelberg. Efficient Decision Support for Crisis Management Based on Information Fusion and Modern SOP Algorithms. Technical report, Gesellschaft für Informatik, Leipzig, 2010.
- [2] Q. Hamp. *Arbeitspaket 2: SOP-gestütztes Informationssystem*, chapter 2, pages 8–48. IMTEK, 2012.
- [3] Q. Hamp, M. Eitelberg, B.-S. Lee, T. Becker, and D. W. und L. Reindl. Fusion von Informationen bei Ortungs- und Bergungseinsätzen. In *15. ITG-/GMA-Fachtagung Sensoren und Messsysteme*, Nürnberg, 2010.
- [4] Q. Hamp, M. Eitelberg, B.-S. Lee, T. Becker, D. Wiebeck, and L. Reindl. Information Fusion based on graph analysis during Urban Search and Rescue. In *Information Fusion*, Edinburgh, UK, 2010. IET.
- [5] Q. Hamp, O. Gorgis, P. Labenda, M. Neumann, T. Predki, L. Heckes, A. Kleiner, and L. Reindl. Study of efficiency of USAR operations with assistive technologies. *Journal of Advanced Robotics*, 27(5), 2013.
- [6] Q. Hamp, D. GÜthlin, and L. Reindl. Decision-making behaviour during urban search and rescue: a case study of Germany. *Disasters Journal*, 38(1):84–107, 2014.
- [7] Q. Hamp, J. Henning, O. Gorgis, L. Chen, R. Z. nd Yefim Yankelevich, J. Pavlina, U. Burzlauff, T. Ostertag, O. Rogall, M. Sippel, C. Feige, M. Wilde, M. Loschonsky, and L. Reindl. *I-LOV-Projekt Schlussbericht*. IMTEK, 2012. Verfasser: Quirin Hamp and Leonhard Reindl.
- [8] Q. Hamp, A. Kleiner, and L. Reindl. Lessons Learned from German Research for USAR. In *IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics*, Kyoto, Japan, 2011. *Young Author's Award*.
- [9] Q. Hamp and L. Reindl. Decision behaviour during Urban Search and Rescue: A German case study. In *Search and Rescue*, Aberdeen, UK, 2010. Shepard.
- [10] Q. Hamp and L. Reindl. Graph analysis on uncertain measurements for position estimation. In *Informatik*, volume 2, Leipzig, 2010. GI-Edition.
- [11] Q. Hamp and L. Reindl. Soft, self-propelled endoscope for minimally invasive interventions. In *Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Biomedizinische Technik (DGBMT)*, Freiburg, 2011. VDE.
- [12] Q. Hamp and L. Reindl. Association performance enhancement through classification. *Journal of Advances in Information Fusion*, 27(2), 2012.
- [13] Q. Hamp and L. Reindl. Soft robot concept for autonomous propagation in confined and obstructed environments. In *IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics*, College Station, TX, USA, 2012.

- 
- [14] Q. Hamp, R. Zhang, L. Chen, O. Gorgis, T. Ostertag, M. Loschonsky, and L. Reindl. New technologies for the search of trapped victims. *Journal of Ad Hoc Networks*, 13, Part A(0):69–82, 2014.
- [15] Q. Hamp, R. Zhang, L. Chen, O. Gorgis, T. Ostertag, Y. Yankelevich, J. Pavlina, M. Loschonsky, F. Schilling, and L. Reindl. Results from German research project I-LOV. In *International Conference on Wireless Technologies for Humanitarian Relief (ACWR2011)*, Kochi, Kerala, India, 2011.

# Literaturverzeichnis

- [16] ESRI Final Report. Technical report, European Research and Innovation Forum, 2009.
- [17] GeoRisksResearch. Technical report, Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, 2010.
- [18] SARMaster. <http://www.gt.honeywell.com/en-us/Pages/Product.aspx?category=Software&cat=HSM-GLOBALTRACKING&pid=SARMaster>, März 2012.
- [19] I. Abi-Zeid. SAR system of the future. Technical report, Laval University, 2008.
- [20] I. Abi-Zeid and J. Frost. SARPlan: A decision support system for Canadian Search and Rescue Operations. *European Journal of Operational Research*, 162(3):630–653, 2005.
- [21] A. L. Adams, T. A. Schmidt, C. D. Newgard, C. S. Federiuk, M. Christie, S. Scorvo, and M. DeFreest. Search Is a Time-Critical Event: When Search and Rescue Missions May Become Futile. *Wilderness and Environmental Medicine*, 18:95–101, 2007.
- [22] H. Asama. Utilization of Remote-Controlled Machine Technology for the Accident of the Nuclear Power Plant. In *9th Int. Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics*, Kyoto, Japan, Nov. 2011. IEEE.
- [23] H. Asama, Y. Hada, K. Kawabata, I. Noda, O. Takizawa, J. Meguro, K. Ishikawa, T. Hashizume, T. Ohga, M. Hatayama, F. Matsuno, and S. Todokoro. Rescue infrastructure for global information collection. In *SICE-ICASE International Joint Conference*, volume 1–13, pages 1600–1605, New York, USA, 2006. IEEE.
- [24] H. Asama, D. Kurabayashi, and K. Noda. Ubiquitous information infrastructure for rescue. In *Proceedings of the 41st SICE Annual Conference*, volume 1–5, pages 886–889, New York, USA, 2002. IEEE.
- [25] J. C. Augusto, H. Wang, and J. Liu. Situation assessment in disaster management. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 1(3):237–247, 2008.
- [26] R. Bajaj, S. Ranaweera, and D. Agrawal. GPS: location-tracking technology. *Computer*, 35(4):92–94, apr 2002.
- [27] Y. Bar-Shalom, F. Daum, and J. Huang. The probabilistic data association filter. *Control Systems, IEEE*, 29(6):82–100, 2009.
- [28] N. Bartelme. *Geoinformatik*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2 edition, 1995.
- [29] F. Bernardini and H. Rushmeier. The 3D model acquisition pipeline. *COMPUTER GRAPHICS FORUM*, 21(2):149–172, 2002.

- [30] L. Bevere, R. Enz, J. Mehlhorn, T. Tamura, J. V. Córdova, and K. Karl. SIGMA Natural catastrophes and man-made disasters in 2011. Technical Report 2, Swiss RE, 2012.
- [31] L. Bevere, B. Rogers, B. Grollmund, and T. Hess. SIGMA Natural catastrophes and man-made disasters in 2010. Technical Report 1, Swiss RE, 2011.
- [32] L. Bevere, T. Seiler, P. Zimmerli, H. Feyen, and K. Karl. SIGMA Natural catastrophes and man-made disasters in 2012. Technical Report 2, Swiss RE, 2013.
- [33] J. Beyerer, F. Puente-León, and K.-D. Sommer, editors. *Informatinsfusion in der Mess- und Sensortechnik*. Universitätsverlag Karlsruhe, 2006.
- [34] C. M. Bishop. *Pattern Recognition and Machine Learning (Information Science and Statistics)*. Springer-Verlag New York, Inc., Secaucus, NJ, USA, 2006.
- [35] S. Bista and M. L. Pack. Real-time massive data simulation visualization. In *Proceedings of Conference on Technologies for Homeland Security*, volume 1–2, pages 543–548, New York, USA, 2008. IEEE.
- [36] J. Blitch. Artificial Intelligence Technologies for Robot Assisted Urban Search and Rescue. *Expert Systems with Applications*, 11(2):109–124, 1996.
- [37] J. Blitch and R. Maurer. KNOBSAR: A knowledge based system prototype for robot assisted urban search and rescue. *Simulation*, 66(6):375–391, 1996.
- [38] BMT Marine Information Systems Limited. Search and Rescue Information System (SARIS). Technical report, BMT, 2010.
- [39] F. Bourgault, A. Göktoğın, T. Furukawa, and H. Durrant-Whyte. Coordinated search for a lost target in a Bayesian world. *Advanced Robotics*, 18(10):979–1000, 2004.
- [40] I. Bronstein and K. Semendjaev. *Taschenbuch der Mathematik*. Harri Deutsch, 5 edition, 2000.
- [41] R. Brüntrup, S. Edelkamp, S. Jabbar, and B. Scholz. Incremental map generation with GPS traces. In *Intelligent Transportation Systems, Proceedings of*, pages 574–579. IEEE, 2005.
- [42] Bundesamt für Zivilschutz, Bonn. *KatS-DV 100: Führung und Einsatz*, 1981.
- [43] Bundesamt für Zivilschutz, Bonn. *KatS-LA 261: Der Bergungseinsatz bei Gebäudeschäden*, 1986.
- [44] Bundesamt für Zivilschutz, Bonn. *KatS-DV 200: Der Bergungszug*, 1989.
- [45] Bundesanstalt Technisches Hilfswerk, Bonn. *THW-DV 1-102: Taktische Zeichen*, 2000.

- [46] Bureau Internationale des Poids et Mesures. Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement. Technical Report 1, Joint Committee for Guides in Metrology, 2008. JCGM 100:2008 GUM 1995 with minor corrections .
- [47] S. Burion. Human Detection for Robotic Urban Search and Rescue. Master's thesis, Ecole Polytechnique fédérale de Lausanne, 2004.
- [48] J. Casper and R. Murphy. Human-Robot Interactions During the Robot-Assisted Urban Search and Rescue Response at the World Trade Center. *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS-PART B: CYBERNETICS*, 33(3):367–385, 2003.
- [49] S. Celik and S. Corbacioglu. Role of information in collective action in dynamic disaster environments. *Disasters*, 34(1):137–154, 2010.
- [50] L. Chen. *Characterization and Modeling of the Mobile Radio Propagation Channel in Disaster Scenarios*. PhD thesis, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Breisgau, 2011.
- [51] B. Cheung, S. Davey, and D. Gray. Comparison of the PMHT Path Planning Algorithm with the Genetic Algorithm for Multiple Platforms. In *Information Fusion*, 2010.
- [52] W. Chiu, J. Arnold, Y. Shih, K. Hsiung, H. Chi, C. Chiu, W. Tsai, and W. Huang. A survey of international urban search-and-rescue teams following the Ji Ji earthquake. *Disasters*, 26(1):85–94, 2002.
- [53] Cinetic Internet Systemhaus GmbH. *ELStab Elektronische Unterstützung in einer stabsmäßig geführten Einsatzleitung V. 1.1*, 2008.
- [54] M. Ciolli, A. Vitti, L. Mengon, P. Zatelli, and F. Zottele. A GIS-based decision support system for the management of SAR operations in mountain areas. In *Geomatics workbooks*, number 6, 2006.
- [55] A. Coburn and R. J. S. Spence. *Earthquake Protection*. John Wiley and Sons, 2002.
- [56] L. Collins. Collapse rescue operations at the pentagon 9-11 attack - a case study on urban search and rescue disaster response. Technical report, Emergency Technical Rescue Institute and the Global Crisis Center.
- [57] L. K. Comfort, K. Ko, and A. Zagorecki. Coordination in Rapidly Evolving Disaster Response Systems: The Role of Information. *American Behavioral Scientist*, 48:295–313, 2004.
- [58] Committee on Using Information Technology to Enhance Disaster Management, National Research Council. *Improving Disaster Management: The Role of IT in Mitigation, Preparedness, Response, and Recovery*. The National Academies Press, 2007.

- [59] CON-SPACE Communications. *SearchCam 3000 - Technical Search and Rescue Camera - Operation and Maintenance Manual*, 2010.
- [60] C. Corbane, D. Carrion, G. Lemoine, and M. Broglia. Comparison of Damage Assessment Maps Derived from Very High Spatial Resolution Satellite and Aerial Imagery Produced for the Haiti 2010 Earthquake. *Earthquake Spectra*, 21(S1):199–218, Oct. 2011.
- [61] COSPAS SARSAT. International satellite system for search and rescue. <http://www.cospas-sarsat.org>, October 2010.
- [62] E. Costamagna, P. Gamba, V. Casella, A. Spalla, F. Casciati, S. Podestà, and P. Ghilardi. A web-based gis archive for local area hazard prevention and mitigation. In *6th European Commission GI & GIS Workshop*, 2000.
- [63] F. Cremer, E. D. Breejen, and K. Schutte. Sensor data fusion for anti-personnel land-mine detection. In *Proceedings of EuroFusion98. International Conference on Data Fusion*, pages 55–60, 1998.
- [64] T. Czepull. *Rechtsfragen bei der Rettung Verschütteter*. PhD thesis, Universität Freiburg, 2011. Studien zum Verwaltungsrecht, Band 48.
- [65] D. J. Daniels. *Surface-Penetrating Radar*. Number 6 in IEE Radar, Sonar, Navigation and Avionics Series. Institution of Electrical Engineers, London, UK, 1996.
- [66] D. J. Daniels, D. J. Gunton, and H. F. Scott. Introduction to subsurface radar. In *Radar and Signal Processing, Proceedings F*, volume 135, pages 278–320. IEE, 1988.
- [67] K. Danowski. Wissenschaftliche Optimierungsmethoden für die strategische Planung und die operative Einsatzführung in der Gefahrenabwehr - Implementierung und praktische Anwendung. In *Informatik 2010*, volume 2, pages 137–142. GI-Edition, 2010.
- [68] B. Dasarathy. Sensor fusion potential exploitation-innovative architectures and illustrative applications. *Proceedings of the IEEE*, 85(1):24–38, 1997.
- [69] T. Davis, H. Rogers, C. Shays, H. Bonilla, S. Buyer, S. Myrick, M. T. Granger, C. W. C. Pickering, B. Shuster, and J. Miller. A Failure of Initiative: Final Report of the Select Bipartisan Committee to Investigate the Preparation for and Response to Hurricane Katrina. Technical report, U.S. House of Representatives, 2006.
- [70] P. J. Densham. *Geographical Information Systems – Principles and Applications*, volume 1, chapter 26: Spatial Decision Support Systems, pages 403–412. Longman Scientific & Technical, Essex, 1991.
- [71] M. Donelli. A rescue radar system for the detection of victims trapped under rubble based on the independent component analysis algorithm. *Progress In Electromagnetics Research M*, 19:173–181, 2011.

- [72] D. Dubois and H. Prade. On the use of aggregation operations in information fusion processes. *Fuzzy Sets and Systems*, 142:143–161, 2004.
- [73] H. F. Durrant-Whyte. Sensor models and multisensor integration. *The International Journal of Robotics Research*, 7(6):97–113, 1988.
- [74] D. Eisele, S. Fisun, M. Loschonsky, R. Schimko, , and L. Reindl. Radar-based measurements of periodic movements. In *6th International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices*, 2009.
- [75] S. El-Tawil and B. Aguirre. Search and rescue in collapsed structures: engineering and social science aspects. *Disasters*, 34(4):1084–1101, 2010.
- [76] H. Engelmann and F. Friedrich. Decision Support for the Members of an Emergency Operation Center after an Earthquake. In *Proceedings of the 4th International ISCRAM Conference*, Delft, Netherlands, 2007. ISCRAM.
- [77] R. Enz, K. Karl, J. Mehlhorn, and S. Schwarz. SIGMA Natural catastrophes and man-made disasters in 2007. Technical Report 1, Swiss RE, 2008.
- [78] R. Enz, P. Scharz, and S. Schwarz. SIGMA Natural catastrophes and man-made disasters in 2008. Technical Report 1, Swiss RE, 2009.
- [79] M. Erdik, Z. Cagnan, C. Zulfikar, K. Sesetyan, M. B. Demircioglu, E. Durukal, and C. Kariptas. Development of Rapid Earthquake Loss Assessment Methodologies for EURO-MED Region. In *14th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China, 2008.
- [80] ERT Systems. OnSite ERT. <http://www.onsiteert.com/>, October 2010.
- [81] European Commission. Rapid preliminary damage assessment - Haiti. Technical report, Joint Research Center - Institute for the Protection and Security of Citizens, 2010. Version 5.
- [82] A. Farinelli, L. Iocchi, and D. Nardi. Monitoring Search and Rescue Operations in Large-Scale Disasters. In G. Ragova, P. Valin, and E. Shahbazian, editors, *Data Fusion for Situation Monitoring Incident Detection Alert and Response Management*, pages 659–670. IOS Press, Amsterdam (Netherlands), 2005.
- [83] Federal Emergency Management Agency (FEMA). *National Urban Search and Rescue (US&R) Response System*, 2003.
- [84] C. Feige, M. Loschonsky, O. Rogall, S. Fisun, and L. M. Reindl. Detection Technology for Trapped and Buried People. In *IEEE MTT-S IMWS*, Croatia, 2010.
- [85] C. Feige, T. Ostertag, M. Loschonsky, and L. Reindl. Radar assisted detection of passive electronic components. In *Radio and Wireless Symposium (RWS), 2010 IEEE*, pages 200–203, 2010.

- [86] A. Ferworn, N. Tran, J. Tran, G. Zarnett, and F. Sharifi. WiFi repeater deployment for improved communication in confined-space urban disaster search. In *International Conference on System of Systems Engineering, Proceedings*, volume 1–2, pages 272–276. IEEE, 2007.
- [87] M. Figueiredo and A. Jain. Unsupervised learning of finite mixture models. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 24(3):381–396, 2002.
- [88] M. Friedrich, D. Göbel, T. Kaspari, J. Lüssem, P. Möbs, H. Peter, H.-J. Schützeck, H. D. Stoffels, R. Vogel, and R. Vogt. *Wörterbuch des Zivil- und Katastrophenschutzes*. Ständige Konferenz für Katastrophenvorsorge und Katastrophenschutz, 2003.
- [89] M. Fritzsche. *Anwendung von Verfahren der Mustererkennung zur Detektion von Landminen mit Georadaren*. PhD thesis, Universität Fridericiana Karlsruhe, 2001.
- [90] C. Früh and A. Zakhor. Constructing 3D City Models by Merging Ground-Based and Airborne Views. In *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2003.
- [91] L. Fuerth, D. J. Baker, et al. Harnessing information technology for disaster management. Technical report, Global Disaster Information Network Task Force, Washington, DC, USA, 1997.
- [92] T. Fujiwara, H. Makie, and T. Watanabe. A framework for data collection system with sensor networks in disaster circumstances. In *International Workshop on Wireless Ad-Hoc Network*, 2004.
- [93] F. Gehbauer, S. Hirschberger, and M. Markus. *Methoden der Bergung Verschütteter aus zerstörten Gebäuden*, volume 46 of *Zivilschutz-Forschung – Neue Folge*. Druckhaus Dreseden GmbH, Bonn, 2002.
- [94] GIT-Sicherheit. Leitstellen: Technik folgt Taktik, August 2010.
- [95] M. Grasmueck and D. A. Viggiano. Integration of Ground-Penetrating Radar and Laser Position Sensors for Real-Time 3-D Data Fusion. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(1):130–137, 2007.
- [96] Y. Hada, K. Kawabata, H. Koguchi, H. Kaetsu, and H. Asama. Rescue communicators for global victim search and local rescue planning. In *2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, volume 1–12, pages 3510–3513, New York, USA, 2006.
- [97] D. L. Hall and J. Llinas. An introduction to multisensor data fusion. In *Proceedings of the IEEE*, volume 85, pages 6–23, 1997.
- [98] D. L. Hall and S. A. McMullen. *Mathematical Techniques in Multisensor Data Fusion*. Artech House, Inc., Norwood, MA, USA, 2004.
- [99] K. Hatazaki, M. Konyo, K. Isaki, S. Tadokoro, and F. Takemura. Active scope camera for urban search and rescue. In *International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2007)*, pages 2596–2602. IEEE/RSJ, 2007.

- [100] S. Herath. Geographical information systems in disaster reduction. *Information Technology for Disaster Management*, 1:25–31, 2001.
- [101] A. K. Jain. Data clustering: 50 years beyond K-means. *Pattern Recognition Letters*, 31(8):651–666, 2010.
- [102] S. Jain, K. Fall, and R. Patra. Routing in a delay tolerant network. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, 34:145–158, 2004.
- [103] K. Jaiswal, D. Wald, P. Earle, K. Porter, and M. Hearne. Earthquake Casualty Models within the USGS Prompt Assessment of Global Earthquakes for Response (PAGER) System. In *Second International Workshop on Disaster Casualties*, 2009.
- [104] G. Jakobson and et al. Situation-Aware Multi-Agent System for Disaster Relief Operations Management. In *3rd International ISCRAM Conference*, Newark, NJ, USA, 2006.
- [105] B.-J. Jang, S.-H. Wi, J.-G. Yook, M.-Q. Lee, and K.-J. Lee. Wireless Bio-Radar Sensor for Heartbeat and Respiration Detection. *Progress In Electromagnetics Research C*, 5:149–168, 2008.
- [106] E. P. Jones, L. Li, J. K. Schmidtke, and P. A. Ward. Practical Routing in Delay-Tolerant Networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 6:943–959, 2007.
- [107] R. Kacelenga, D. Erickson, and D. Palmer. Voting fusion adaptation for landmine detection. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 18(8):13–19, 2003.
- [108] H. Kaji, editor. *GIS for Disaster Management*, number 18 in 9th International Research and Training Seminar on Regional Development Planning for Disaster Prevention, Nagoya, Japan, 1996. United Nation Centre for Regional Development (UNCRD).
- [109] S. Kakumoto, Y. Kosugi, M. Hatayama, and H. Kameda. Development of spatial temporal geographic information system and risk adaptive regional management information system - Toward development of GIS based on Asian culture for disaster prevention. In *Proceedings of the 41st SICE Annual Conference*, volume 1–5, pages 352–357, New York, USA, 2002. IEEE.
- [110] G. Keinan. Decision Making under Stress: Scanning of Alternatives Under Controllable and Uncotrollable Threats. *Journal of Personality and Social Psychology*, 52(3):639–644, 1987.
- [111] A. Kleiner, N. Behrens, and H. Kenn. Wearable Computing meets Multiagent Systems: A real-word interface for the RoboCupRescue simulation platform. In *Third International Workshop on Synthetic Simulation and Robotics to Mitigate Earthquake Disaster (SRMED)*, Bremen, Germany, 2006.
- [112] A. Kleiner, M. Brenner, T. Bräuer, C. Dornhege, M. Göbelbecker, M. Luber, J. Preidiger, J. Stückler, and B. Nebel. Successful Search and Rescue in Simulated Disaster Areas. In *Int. RoboCup Symposium*, Osaka, Japan, 2005.

- [113] S. Kleuker. *Grundkurs Software-Engineering mit UML*. Vieweg + Teubner Verlag, 2. edition, 2011.
- [114] W. Koch. On exploiting 'negative' sensor evidence for target tracking and sensor data fusion. *Information Fusion*, 8(1):28–39, 2007.
- [115] T. Kratzke, L. Stone, and J. Frost. Search and Rescue Optimal Planning System. In *Information Fusion, 13th Conference on*, pages 1–8, 2010.
- [116] F. Krimgold. Search and rescue in collapsed reinforced concrete buildings. In *Proceedings of Ninth World Congress on Earthquake Engineering*, pages 693–696, Kyoto, Japan, 1988.
- [117] H. W. Kuhn. The Hungarian method for the assignment problem. *Naval Research Logistics Quarterly (NRL)*, 2:83–97, 1955.
- [118] P. Labenda, T. Sadek, and T. Predki. Controlled Maneuverability of an Articulated Tracked Mobile Robot. *ASME Conference Proceedings*, 2010(44106):1141–1147, 2010.
- [119] R. Laurini and D. Thompson. *Fundamentals of Spatial Information Systems*. Number 37 in A.P.I.C. Harcourt and Brace and Jovanovich, London, 4th edition, 1995.
- [120] J. Lawson, J. Command control as a process. *Control Systems Magazine, IEEE*, 1(1):5–11, 1981.
- [121] A. Lewandowski, B. Niehoefer, and C. Wietfeld. Concept and performance evaluation of a galileo-based emergency short message service. In *Vehicular Technology Conference, 2009. VTC Spring 2009. IEEE 69th*, pages 1–5. IEEE, 2009.
- [122] A. Lewandowski, A. Schulz, R. Koch, and C. Wietfeld. Mobile it applikation, vernetzte sensoren und kommunikationskonzepte zum schutz der einsatzkräfte bei der feuerwehr. In *GI Informatik 2009 Workshop zur IT Unterstützung von Rettungskräften*, page 0, 2009.
- [123] P. Maack. Die Systematik der Schadenstellen, I. Teil. *Baulicher Luftschutz*, 6(5):97–118, 1942.
- [124] P. Maack. Die Systematik der Schadenstellen, II. Teil. *Baulicher Luftschutz*, 6(6):129–133, 1942.
- [125] P. Maack. Die Systematik der Schadenstellen, III. Teil. *Baulicher Luftschutz*, 7:2–16, 1943.
- [126] N. Macmillan and C. Creelman. *Detection theory: A User's Guide*. Lawrence Erlbaum Associates, 2005.
- [127] B. R. Mahafza. *Radar systems analysis and design using MATLAB*. Champman & Hall/CRC, 2 edition, 2005.
- [128] G. Mao, B. Fidan, and B. D. O. Anderson. Wireless sensor network localization techniques. *Computer Networks*, 51(10):2529–2553, 2007.

- [129] M. Markus and F. Friedrich. Concept for an integrated disaster management tool. In *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada, 2004.
- [130] R. Marterer, M. Moi, and R. Koch. An architecture for distributed, event-driven systems to collect and analyze data in emergency operations and training exercises. In *Proceedings of the 9th International ISCRAM Conference, Vancouver, Canada*, 2012.
- [131] J. McAffer, J.-M. Lemieux, and C. Aniszczyk. *Eclipse Rich Client Platform*. Addison-Wesley, 2 edition, 2010.
- [132] J. McCarthy, D. Frost, R. Katz, R. Sproull, C. Morefield, and V. Gawron. Building the Joint Battlespace Infosphere, Volume 1: Summary. Technical report, Department of the Air Force AF/SB, Washington, DC, USA, 1999.
- [133] McKinsey and Company. McKinsey Report - Increasing FDNY's Preparedness. Technical report, FDNY, New York, 2002.
- [134] J.-I. Meguro, K. Ishikawa, T. Hasizume, J.-I. Takiguchi, I. Noda, and M. Hatayama. Disaster information collection into geographic information system using rescue robots. In *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, volume 1–12, pages 3514–3520, 2006.
- [135] N. Milisavljevic and I. Bloch. Sensor Fusion in Anti-Personnel Mine Detection Using a Two-Level Belief Function Model. *IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics-Part C: Applications and Reviews*, 33(2):269–284, 2003.
- [136] N. Milisavljevic and I. Bloch. Possibilistic versus belief function fusion for antipersonnel mine detection. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 46(5):1488–1498, 2008.
- [137] H. Mitchell. *Multi-Sensor Data Fusion*. Springer, New York, Berlin, Heidelberg, 2007.
- [138] MSA Auer GmbH, Berlin. *TecBOS.Command Leistungsbeschreibung*. Rev. 12.09.06.
- [139] Munich RE. Natural Hazard Risk Index for Megacities. Technical report, Geo Risk Research Group, 2007.
- [140] R. Murphy. Introduction to Rescue Robotics. In *9th Int. Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics*, Kyoto, Japan, Nov. 2011. IEEE.
- [141] R. Murphy, J. Blich, and J. Casper. AAI/Robocup-2001 Urban Search and Rescue Events: Reality and Competition. *AI Magazine*, 23(1):0738–4602, 2002.
- [142] R. R. Murphy. Rescue robotics for homeland security. *Communications of the ACM*, 47(3):66–68, 2004.

- [143] H. R. Myler. Characterization of disagreement in multiplatform and multisensor fusion analysis. *Signal Processing, Sensor Fusion, and Target Recognition IX*, 4052(1):240–248, 2000.
- [144] K. Nagatani, S. Kiribayashi, Y. Okada, S. Tadokoro, T. Nishimura, T. Yoshida, E. Koyanagi, and Y. Hada. Redesign of rescue mobile robot Quince. In *Int. Symposium on Safety, Security and Rescue Robotics*, Kyoto, Japan, 2011. IEEE.
- [145] E. F. Nakamura, A. A. F. Loureiro, and A. C. Frery. Information fusion for wireless sensor networks: Methods, models, and classifications. *ACM Computing Surveys*, 39(3), 2007.
- [146] National Imagery and Mapping Agency. Department of Defense World Geodetic System 1984. Technical report, National Imagery and Mapping Agency, 2000.
- [147] A. Nezirovic. *Trapped-Victim Detection in Post-Disaster Scenarios using Ultra-Wideband Radar*. PhD thesis, Delft University of Technology, 2010.
- [148] A. Nezirovic, S. Tesfay, A. Valavan, and A. Yarovoy. Experimental study on human breathing cross section using UWB impulse radar. In *Radar Conference, 2008. EuRAD 2008. European*, pages 1–4, Oct 2008.
- [149] A. Nezirovic, A. Yarovoy, and L. Ligthart. Signal processing for improved detection of trapped victims using uwb radar. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 48(4):2005–2014, April 2010.
- [150] M. Onosato, F. Takemura, K. Nonami, K. Kawabata, K. Miura, and H. Nakanishi. Aerial Robots for Quick Information Gathering in USAR. In *SICE-ICASE, International Joint Conference*, pages 3435–3438, 2006.
- [151] S. A. Osuka K., Murphy R. Usar competitions for physically situated robots. *Robotics & Automation Magazine, IEEE*, 9(3):26–33, 2002.
- [152] H. Partsch. *Requirements-Engineering systematisch*. Springer, 1998.
- [153] J. Pavlina and L. Reindl. Disaster Scenario Cell Phone Detection and Range Estimation. In *International Symposium on Antennas and Propagation*, Jeju, South Korea, 2011.
- [154] S. Perrin, E. Duflos, P. Vanheeghe, and A. Bibaut. Multisensor fusion in the frame of evidence theory for landmines detection. *IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics-Part C: Applications and Reviews*, 34(4):485–498, 2004.
- [155] F. Peña-Mora, A. Y. Chen, Z. Aziz, L. Soibelman, L. Y. Liu, K. El-Rayes, C. A. Arboleda, T. S. Lantz Jr., A. P. Plans, S. Lakhera, and S. Mathur. Mobile ad hoc network-enabled collaboration framework supporting civil engineering emergency response operations. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 24(3):302–312, 2010.
- [156] M. L. Pinedo. *Scheduling – Theory, Algorithms, and Systems*. Springer, New York, 4th edition, 2012.

- [157] J. Pottebaum, J. Löffler, J. Schon, D. Schneider, and R. Koch. Share: Semantische interoperabilität-ein anwenderorientierter ansatz. In *GI Jahrestagung (1)*, pages 169–174, 2007.
- [158] Pro DV. DeNIS II<sup>plus</sup>. <http://www.prodv.de/>, October 2010.
- [159] Refrations Research. PostGIS 1.4, 2010. <http://postgis.refrations.net/>.
- [160] Refrations Research. uDig 1.1, 2010. <http://uDig.refrations.net>.
- [161] M. Rehor and H.-P. Bähr. Detection and Analysis of Building Damage caused by earhtquakes unsing LASER Scanner Data. In *International Symposium on Strong Vrancea Earthquakes and Risk Mitigation*, pages 457–471, Bucharest, Romania, 2007.
- [162] J. S. Rellermeyer, G. Alonso, and T. Roscoe. R-OSGi: Distributed Applications through Software Modularization. In *8th International Middleware Conference*, Newport Beach, CA, 2007. ACM/IFIP/USENIX.
- [163] N. Ritter and M. Ruth. GeoTIFF Format Specification. <http://remotesensing.org/geotiff/spec/geotiffhome.html>, 2000. Specification Version: 1.8.2.
- [164] C. Rodarmel, L. Scott, D. Simerlink, and J. Walker. Multisensor fusion over the World Trade Center disaster site. *Optical Engineering*, 41(9):2120–2128, 2002.
- [165] O. Rogall, R. Schilling, M. Loschonsky, R. Schimko, and L. M. Reindl. Radargestützte Personenortung. In *Sensoren und Messsysteme*, pages 728–732, Nürnberg, 2010. VDE.
- [166] B. Rogers, J. Mehlhorn, and S. Schwarz. SIGMA Natural catastrophes and man-made disasters in 2009. Technical Report 1, Swiss RE, 2010.
- [167] C. Schneider. Organisationsübergreifende Einsatzführung dank PantherCommand. <http://www.ruag.com/de/konzern/medien/medienmitteilungen/news/cross-organizational-operational-command-with-panthercommandR/526507dde168b5adc1c3a1129637fb40>, September 2016. letzter Zugriff 27.07. 2016.
- [168] N. Schurr, P. Patil, F. Pighin, and M. Tambe. Using Multiagent Teams to Improve the Training of Incident Commanders. In *Industry Track of the Fifth International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, 2006.
- [169] C. Schweier and M. Markus. Assessment of the search and rescue demand for individual buildings. In *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada, 2004.
- [170] R. Shaw. Mega Disaster in a Resilient Society: The Great East Japan (Tohoku Kanto) Earthquake and Tsunami of 11th March 2011. Technical report, Kyoto University, International Environment and Disaster Management Laboratory, Japan, 03 2011. Synthesis and Initial Observations.

- [171] S. Y. Shen and M. J. Shaw. Managing Coordination in Emergency Response Systems with Information Technologies. In *Tenth Americas Conference on Information Systems*, pages 2110–2120, New York, USA, 2004.
- [172] Simon and S. M. Dillon. The new science of management decision. In *In Proceedings of the 33 rd Conference of the Operational Research Society of New Zealand*, 1960.
- [173] M. Skalla. *Fachausbildung der Ortungsgruppen– Retten und Bergen aus Trümmern*. Bundesanstalt Technisches Hilfswerk, Bonn, 2004.
- [174] M. I. Skolnik. *Introduction to radar system*. McGraw-Hill, New York, NY, 10020, 2001.
- [175] P. Smets and R. Kennes. The Transferable Belief Model. *Artificial Intelligence*, 66(2):191–234, 1994.
- [176] R. Smith and P. Cheeseman. On the representation and estimation of spatial uncertainty. *International Journal of Robotics Research*, 5(4):56–68, 1986.
- [177] C. Stauch. *GIS als entscheidungsunterstützendes Werkzeug in der Verkehrsplanung – am Beispiel von Flächenzerschneidung und Immissionsbelastung*. PhD thesis, Universität Stuttgart, 2000.
- [178] U. TABBERT and J. MEIKE. *Maßnahmen der Feuerwehr und anderer Hilfskräfte nach Gebäudeeinstürzen*. Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes (vfdb), 2003.
- [179] S. Tadokoro, editor. *Rescue Robotics - DDT Project on Robots and Systems for Urban Search and Rescue*. Springer, London, 2009.
- [180] S. Tadokoro, F. Matsuno, H. Asama, M. Onosato, K. Osuka, T. Doi, H. Nakanishi, I. Yokokohji, and M. Murata. DDT Project: Background and Overview. In *Workshop on Rescue Robotics - DDT Project on Urban Search and Rescue*, pages 1–22, San Diego, USA, 2007. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems.
- [181] O. Takizawa, A. Shibayama, M. Hosokawa, K. Takanashi, M. Murakami, Y. Hisada, Y. Hada, K. Kawabata, I. Noda, and H. Asama. Hybrid radio frequency identification system for use in disaster relief as positioning source and emergency message boards. In J. Loffler and M. Klann, editors, *Mobile Response*, volume 4458 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 85–94, Berlin, Germany, 2007. Springer-Verlag.
- [182] S. Thrun, W. Burgard, and D. Fox. *Probabilistic Robotics*. MIT Press, Cambridge, MA, USA, 2005.
- [183] Topografix. GPX: the GPS Exchange Format. <http://www.topografix.com/gpx.asp>. version 1.1 released 2004.
- [184] United Nations. *INSARAG Guidelines and Methodology*, 2008.

- [185] A. v. Zimmermann. *Rechtmäßigkeit der Rettung Verschütteter im Wege der Ortung von Mobiltelefonen*. PhD thesis, Universität Freiburg, 2011. Studien zum Verwaltungsrecht, Band 41.
- [186] A. v. Zimmermann and T. Czepull. Zuständigkeiten und Kompetenzen im Katastropheneinsatz. *DVBl*, 5:270ff, 2011.
- [187] VDE/VDI. Grundlagen der Meßtechnik DIN 1319-1. Technical report, VDE/VDI, 1995.
- [188] L. Wald. Some terms of reference in data fusion. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37(3, Part 1):1190–1193, 1999.
- [189] H. Werner, D. Wiebeck, and K. Pietsch. I-LOV – Intelligentes sicherndes Lokalisierungssystem für die Rettung und Bergung von Verschütteten, Teilprojekt des THW: Anwenderbezug, Feldtests und Übungen, Abschlussbericht THW. Technical report, Bundesanstalt Technisches Hilfswerk, Bonn, 08 2012.
- [190] World Health Organization. *Natural disasters: Protecting the public's health*. Pan American Health Organization, Washington, D.C., 2000. Scientific Publication, 575.
- [191] A. Zanetti, R. Enz, P. Heck, J. Green, and S. Suter. SIGMA Natural catastrophes and man-made disasters in 2003. Technical Report 1, Swiss RE, 2004.
- [192] A. Zanetti, R. Enz, I. Menzinger, J. Mehlhorn, and S. Suter. SIGMA Natural catastrophes and man-made disasters in 2002. Technical Report 2, Swiss RE, 2003.
- [193] A. Zanetti, R. Enz, and W. Schaad. SIGMA Natural catastrophes and man-made disasters in 2001. Technical Report 2, Swiss RE, 2002.
- [194] A. Zanetti, R. Enz, U. Schweizer, and T. Hess. SIGMA Natural catastrophes and man-made disasters in 2000: fewer insured losses despite huge floods. Technical Report 2, Swiss RE, 2001.
- [195] A. Zanetti and S. Schwarz. SIGMA Natural catastrophes and man-made disasters in 2004. Technical Report 1, Swiss RE, 2005.
- [196] A. Zanetti and S. Schwarz. SIGMA Natural catastrophes and man-made disasters in 2005. Technical Report 1, Swiss RE, 2006.
- [197] A. Zanetti, S. Schwarz, and A. Lindemuth. SIGMA Natural catastrophes and man-made disasters in 2006. Technical Report 1, Swiss RE, 2007.
- [198] R. Zhang and L. Reindl. Pedestrian motion based inertial sensor fusion by a modified complementary separate bias kalman filter. In *Sensors Applications Symposium (SAS)*, pages 209–213. IEEE, 2011.
- [199] S. Zorn, M. Maser, A. Goetz, R. Rose, and R. Weigel. A power saving jamming system for E-GSM900 and DCS1800 cellular phone networks for search and rescue applications. In *IEEE Topical Conference on Wireless Sensors and Sensor Networks (WiSNet)*, pages 33–36, 2011.



# Anhang

# A Allgemeine Informationen

**Tabelle A.1:** Tote weltweit nach großen Erdbeben mit einer Magnitude größer 7,0 oder mehr als 100 Tote zwischen 1944-2008 (Quelle: [179], S. 4).

<i>Jahr</i>	<i>Magnitude</i>	<i>Land/Region</i>	<i>Anzahl Tote</i>
1944	8	Japan	1223
1945	6.8	Japan	2306
1946	8	Japan	1443
1948	7.1	Japan	3769
1952	8.2	Japan	33
1960	8.5	Chile	5700
1960	7.2	Sichuan, China	
1964	9.4	Alaska, USA	131
1964	7.5	Japan	26
1975	7.3	Liaoning, China	1328
1976	7.8	Hebei, China	240000
1976	7.2	Sichuan, China	
1976	7.2	Sichuan, China	
1978	7.4	Japan	16
1983	6.9	Japan	104
1985	8.5	Mexico	5900
1993	7.8	Japan	
1993	7.8	Japan	229
1993	8.1	Guam, USA	0
1993	6.4	India	30000
1994	8.1	Japan	
1994	7.5	Japan	
1995	7.3	Japan	6432
1999	7.4	Turkey	17000
1999	7.6	Taiwan	2405
1999	7.2	Turkey	
2000	7.3	Japan	0
2001	7.9	India	13000
2001	8.1	Tibet, China	
2003	8	Japan	2
2203	6.6	Iran	40000
2004	9.3	Sumatra, Indonesia	220000
2005	7	Japan	1
2005	7.2	Japan	0
2005	7.5	Pakistan	80000
2007	7.6	Peru	500
2008	8	Sichuan, China	87449?
2008	7.2	Japan	23?

# A.1 Dokumentation von Feldversuchen

Taktisches Arbeitsblatt für die Führungsstufen A + B  
 © IGF NRW, Münster 2008. Alle Rechte vorbehalten  
 IGF - Institut für Gesamtschutz  
 Legende: abgibt an NRW

Einsatzort: \_\_\_\_\_ | Meldender: \_\_\_\_\_ | Objekt: \_\_\_\_\_ | Datum - Uhrzeitgruppe: \_\_\_\_\_

Einsatzstichwort: \_\_\_\_\_ | Lagebild (Ordnung des Raumes/Einsatzkräfte)

**Kräfteübersicht:**  
 Auftrag:  MR  BB  / / / / =

**Führung**  LZ  LZ  Sonderztg  Rettungsdienst  
 A-Dienst  LF 16/12  RW  NEF x  
 B-Dienst  DLK 23/12  SW  RTW x  
 C-Dienst  TLF 24/50  KTW x

**Organisation/Kommunikation**  
 470 SUU  
 Ein-Kanal: \_\_\_\_\_  
 Fu-Kanal: \_\_\_\_\_  
 Zm-Kanal: \_\_\_\_\_  
 Geb-Funk: \_\_\_\_\_

Leiter/ Führer: \_\_\_\_\_ K: \_\_\_\_\_  
 EL EAL UAL K: \_\_\_\_\_  
 Fax: \_\_\_\_\_  
 Eignes Fundament  DF  P  
 Auftrag: \_\_\_\_\_ K: \_\_\_\_\_  
 Fax: \_\_\_\_\_

Auftrag: \_\_\_\_\_ Führer: \_\_\_\_\_ K: \_\_\_\_\_  
 Auftrag: \_\_\_\_\_ Führer: \_\_\_\_\_ K: \_\_\_\_\_  
 Auftrag: \_\_\_\_\_ Führer: \_\_\_\_\_ K: \_\_\_\_\_  
 Auftrag: \_\_\_\_\_ Führer: \_\_\_\_\_ K: \_\_\_\_\_  
 Auftrag: \_\_\_\_\_ Führer: \_\_\_\_\_ K: \_\_\_\_\_  
 Auftrag: \_\_\_\_\_ Führer: \_\_\_\_\_ K: \_\_\_\_\_

**Rückmeldungen/Bemerkungen/Notizen**

**Führungsvorgang**  
 bedrohtes Objekt/Subjekt: \_\_\_\_\_ Wert? \_\_\_\_\_  
 Wirkung: \_\_\_\_\_  
 erledigt: \_\_\_\_\_  
 Urzeit: \_\_\_\_\_  
 Priorität: \_\_\_\_\_  
 Maßnahmen: \_\_\_\_\_

Abb. A.1: Taktisches Arbeitsblatt der Feuerwehr zur Dokumentation von Einsätzen (Quelle: Institut der Feuerwehr NRW <http://www.idf.nrw.de>).

A.1.1 Dokumentation des Feldtests in Holzwickede

**Tabelle A.2:** Legende einer Lagekarte (Abb. 5.2) in einem tabellarischen Aufbau während einer Ortungsübung in Holzwickede (Quelle: THW Unna-Schwerte). Die Informationen sind jeweils einem Haus (1. Spalte) zugeordnet, für das ein Team (2. Spalte) verantwortlich ist. Die Informationen werden dann entweder dem Untergeschoss (3. Spalte: UG, Erdgeschoss ist aber gemeint) oder dem Obergeschoss (4. Spalte: OG) zugeordnet.

Haus	Team	UG	OG
1	Anke 10:19 Innen Fertige 10:50, suche Sätze außen Fertig 10:58	② Klopfen 10:20 ⑦ Person 15J männlich unverletzt 10:27 ⑫ Klopfgeräusche Sperrsaal 10:37 11:00 : Absache des Amonialt-Bereichs 11:06 Fertig	⑩ Amonialt suche hier abgebrochen 10:42 ⑬ weiblich, unverletzt 10:44 ⑭ "Börge" gefunden 11:05
2	Malika 10:17 Fertig 10:31	⑪ starker Gasgeruch 10:20 ④ Person einprallt: Dora Quittbaum 10:22 ⑥ Person vermutl. Herzinfarkt Fritz Fruchtkorn 10:26	
3	Malika ab 10:32 Fertig 10:46	⑪ : Zwischenrohrbruch zweifelhafte Raum rechts 10:36	⑮ : 40J, verwirrt 10:41 ⑰ : "Adam Apfel, 26J offen Fraktur 10:43
4	Olli ab 10:32 Fertig 10:46	⑮ : Person "AC Kohol" (Migräne) 45J, schläft, AC Koholgeruch 10:39	⑱ 10J "Jonas" Fraktur Arm, sucht Hans 10:49
5	Olli ab 10:17 Fertig 10:32	③ Person unverletzt: Hans 8J 10:21 ⑤ Person bewusstlos: N.V. 45J <del>Kopfverletzung</del> 10:24	⑧ Person verwirrt männlich verletzt 10:29 Egon Ermög: sucht Hans & <del>Jonas</del> ⑩ Entschungsbedarf 10:32
6	Marina ab 10:17 Fertig 10:33	⑥ Person bewusstlos: Kopfverletzung 45J 10:24 ⑭ : Heumf. / Ältere Munitioisf. 10:40	⑯ Ältere Flüssigkeit Zimmer 108 10:30

Im Folgenden wird das Meldungsprotokoll in drei Teilen präsentiert, das während des Feldtests durch eine Einsatzkraft des THW Ortsverbands Unna-Schwerte geschrieben worden ist.

Arbe / Thomas	Fü	Gebäude
✓ <u>Marina</u> Jürgen	A	6
<u>Olli</u> / Jörg ✓	B	5 → 4
✓ <u>Ake</u> / Rebekka	C	7
✓ <u>Mallikka</u> / Ralf	D	2 → 3

alle Gebäude bis auf 2  
 ↳ min. 3 Suchen

Gas Geb. 2 70. 79  
 Klappen Geb 7 70.20  
 Olli (Hans 87 unter  
 Geb. 2 7 P. Dorra Dastholum eingeklemmt 70.23  
 Geb. 6 Person 45 Kopfverletzung Erdgeschoss 70.25  
 Geb. 2 Mitte Fritz Frischleben 85 J 70.25  
 Gas 7 Erdgeschoss östlich <sup>unverletzt</sup> 75 J männlich. 70.25  
 Geb. 6 Außen / Erdgeschoss frei 70.25  
 Geb. 2 2 Räume nicht begehbar 70.28  
 Geb. 5 männlich 7.08 unverletzt 70.29  
 Egon Ernst sucht 2 Kinder Hans / Jonas

Meldungsprotokoll Teil 1

Geb. 6	70y. östlich Zimmer 708 ärende Flüssigkeit	70.30
Geb. 5	Gefahr Tropfen nördlich Entstehungslinien	70.37
Geb. 2	frei → Geb. 3	70.32
Geb. 5	frei	70.32
Geb. 6	frei	70.32
Team Marina	wrückhaken 70.33 → <u>70.34</u>	
Geb. 3	Ey rechts nordseite Wasserrohrbruch	70.36
Geb. 7	östlich Haupt Ey Spitze sahl → links kein Handeanschlus	70.37
Geb. 4	Ey auf WC Alter 45 J. schlaf / Alkoholgeruch Non-Alcohol	70.38
Geb. 6	westlich still Ey Alimktion	70.39
Geb. 3	70y west. mitte 40 J. verwint	70.40
Geb. 7	emanach Süd / west → suche hier abstracker	70.42
Team		
Geb. 3	70y nord / ost Atem Applet offene Fraktur 26 J.	70.43
Geb. 4	70y nord männ Janus 73 J Fraktur. kann sucht Hans	70.44
Geb. 7	Person westl. weib. 78 J. unvertezt	70.45
Geb. 4	frei	70.46
Bl. Geb. 3	frei	70.46

Sch. 7	kommen Loris → gehen nach außen	10.50
Team Anke	Sch. 7 VAPR An Freimeldung	10.58
	<del>Einsatzende</del>	<del>10.58</del>
Team Anke	Sch. 7 nochmalige such	11.07
Sch. 7	Börse gebunden Jemenhof	11.05
Team Anke	zurück	11.06
	Einsatzende	11.07

**Abb. A.2:** Meldungsprotokoll des konventionellen Laufs beim Feldtest in Holzwickede 2011 (Teil 3) (Quelle: THW Unna-Schwerte).



## A.1.2 Messergebnisse mit dem monostatischem Radarsystem

# A.2 Online-Fragebogen zum Entscheidungsverhalten bei Ortungseinsätzen



## Entscheidungsverhalten bei Ortungseinsätzen

Diese Umfrage hat zum Ziel das Entscheidungsverhalten von Einsatzkräften bei Ortungseinsätzen zu klären. Wie Unglücke mit vermuteten Verschütteten bewältigt werden ist ihr Fokus.

Willkommen {TOKEN:FIRSTNAME} {TOKEN:LASTNAME}

bei der Umfrage zum

### Entscheidungsverhalten bei Ortungseinsätzen

Folgende Umfrage enthält maximal 20 Fragen, deren Beantwortung **nicht mehr als ca. 15 min** benötigt. Ihre Antworten sind wichtig, da sie verhelfen in der Zukunft Verschüttete effizienter zu finden.

Hinweis:

Der rote Stern "\*" markiert Fragen, die Sie beantworten müssen.

Diese Umfrage enthält 21 Fragen.

### Ortungseinsatzerfahrung

Folgende Fragen haben zum Ziel mehr über Sie und Ihre Erfahrungen zu erfahren.

#### 1 An wie vielen Ortungseinsätzen haben Sie teilgenommen, bei denen mindestens ein Menschen verschüttet war? \*

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

#### 2 An wie vielen Ortungseinsätzen mit mindestens 5 Verschütteten haben Sie mitgewirkt?

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

° Antwort war gleich oder größer als bei Frage '1 [Erfahrung]' (An wie vielen Ortungseinsätzen haben Sie teilgenommen, bei denen mindestens ein Menschen verschüttet war?)

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

#### 3 Wie viel Erfahrung mit folgenden Ortungsmethoden besitzen Sie? \*

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	1	2	3	4	5
Horch Klopf Suchmethode	<input type="radio"/>				
biologische Ortung	<input type="radio"/>				
akustische Ortung - Geophon	<input type="radio"/>				
Endoskop	<input type="radio"/>				
Infrarot Kamera	<input type="radio"/>				
Roboter	<input type="radio"/>				
Bioradar	<input type="radio"/>				
Handyortung	<input type="radio"/>				

1 = "keine Erfahrung" bis 5 = "(sehr) viel Erfahrung"

**Entscheidungserfahrung**

Folgende Fragen haben zum Ziel Ihre Erfahrungen bei der Entscheidungsfällung während Ortungseinsätzen zu klären.

**4 Bei Ortungseinsätzen mit Verschütteten müssen verschiedene Entscheidungen getroffen werden. Welche der folgenden Dinge haben Sie (persönlich, alleine) bei einem solchen Einsatz schon einmal entschieden? \***

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	Ja	Nein
Wo Ortungsmaßnahmen eingeleitet werden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Welche Ortungsmethoden eingesetzt werden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ob ein ungewisses positives Ortungsergebnis auf einen Verschütteten hinweist oder nicht	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
In welcher Reihenfolge die Ortungsmethoden eingesetzt werden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ob Bergungs- bzw. Rettungsmaßnahmen eingeleitet werden	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**5 Wie relevant waren folgende Aspekte bei Ihrer Entscheidung an welchen Stellen Ortungsmaßnahmen einzusetzen sind?**

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**  
 ° Die Antwort war 'Ja' bei Frage '4 [Entscheidungserfahre]' (Bei Ortungseinsätzen mit Verschütteten müssen verschiedene Entscheidungen getroffen werden. Welche der folgenden Dinge haben Sie (persönlich, alleine) bei einem solchen Einsatz schon einmal entschieden? (Wo Ortungsmaßnahmen eingeleitet werden))

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	1	2	3	4	5
Systematisch - Lagekarte	<input type="radio"/>				
Wo bereits gesucht worden ist	<input type="radio"/>				
Augenzeugenberichte	<input type="radio"/>				
Vermutungen	<input type="radio"/>				
Wo bereits was gefunden worden ist	<input type="radio"/>				

1 = "irrelevant" bis 5 = "sehr relevant"

**6 Ist es in Ihren Augen sinnvoll, eine Ortungsmaßnahme einzuleiten bzw. durchzuführen, nachdem an einem Ort bereits jemand gefunden wurde? \***

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

Ja

Nein

**7 Wonach richten Sie sich bei der Auswahl der Ortungsmethode? Gehen Sie davon aus, dass Ihnen mehrere verfügbare Ortungsmethoden zur Verfügung stehen.**

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**  
 ° Die Antwort war 'Ja' bei Frage '4 [Entscheidungserfahre]' (Bei Ortungseinsätzen mit Verschütteten müssen verschiedene Entscheidungen getroffen werden. Welche der folgenden Dinge haben Sie (persönlich, alleine) bei einem solchen Einsatz schon einmal entschieden? (Welche Ortungsmethoden eingesetzt werden))

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	1	2	3	4	5
nach Regeln	<input type="radio"/>				
nach Gefühl	<input type="radio"/>				
nach Umgebung	<input type="radio"/>				
nach Bedienpersonal	<input type="radio"/>				
nach Leistungsstärke der Ortungsmethode	<input type="radio"/>				

1 = "trifft nicht zu" bis 5 = "trifft völlig zu"

**8 Wonach richten Sie sich, um die Reihenfolge der einsetzbaren Ortungsmethoden zu bestimmen?**

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**

° Die Antwort war 'Ja' bei Frage '4 [Entscheidungserfahre]' (Bei Ortungseinsätzen mit Verschütteten müssen verschiedene Entscheidungen getroffen werden. Welche der folgenden Dinge haben Sie (persönlich, alleine) bei einem solchen Einsatz schon einmal entschieden? (In welcher Reihenfolge die Ortungsmethoden eingesetzt werden))

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	1	2	3	4	5
nach Regeln	<input type="radio"/>				
nach Verfügbarkeit	<input type="radio"/>				
nach Leistungsstärke der Ortungsmethode	<input type="radio"/>				

1 = "trifft nicht zu" bis 5 = "trifft völlig zu"

**9 Unter welchen der folgenden Bedingungen werden ungewisse, positive Ortungsbefunde als nicht ausreichend bewertet, um Bergungs- bzw. Rettungsmaßnahmen einzuleiten?**

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**

° Die Antwort war 'Ja' bei Frage '4 [Entscheidungserfahre]' (Bei Ortungseinsätzen mit Verschütteten müssen verschiedene Entscheidungen getroffen werden. Welche der folgenden Dinge haben Sie (persönlich, alleine) bei einem solchen Einsatz schon einmal entschieden? (Ob Bergungs- bzw. Rettungsmaßnahmen eingeleitet werden))

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	1	2	3	4	5
Größe des noch nicht abgesuchten Einsatzgebietes	<input type="radio"/>				
Zeitdruck	<input type="radio"/>				
Ressourcenmangel	<input type="radio"/>				
Anzahl der ungewissen Ortungsbefunde	<input type="radio"/>				
Glaubwürdigkeit der Ortungsbefunde	<input type="radio"/>				

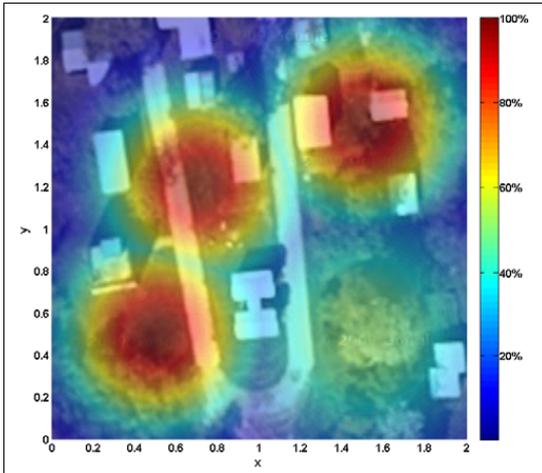
1 = "trifft nicht zu" bis 5 = "trifft völlig zu"

**Beschränkungen**

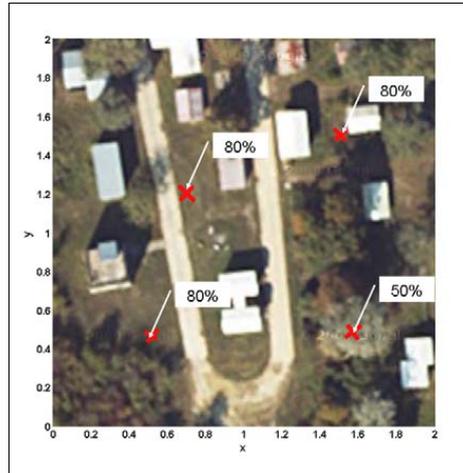
Folgende Fragegruppe versucht Verbesserungspotentiale ausfindig zu machen.

**10 In wie weit würden Sie folgenden vier Methoden der Wahrscheinlichkeitsangabe über die vermutete Position eines Verschütteten (gegeben durch ein Computerprogramm) bei der Entscheidung "Einleitung von Bergungsmaßnahmen " vertrauen?**

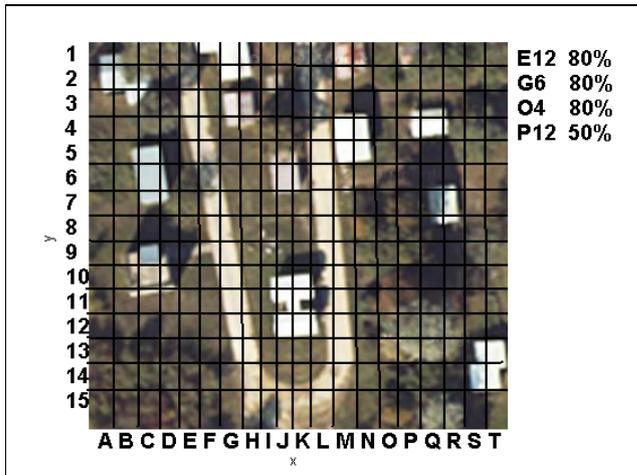
**1. Wahrscheinlichkeitskarte**



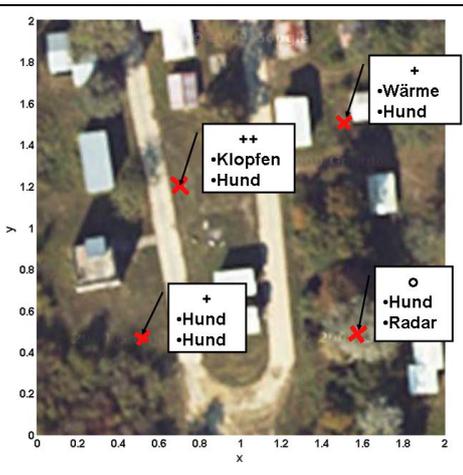
**2. Punkte und ihre Wahrscheinlichkeit**



**3. Quadranten mit Wahrscheinlichkeit**



**4. Punkte mit Liste positiver Befunde und Tendenzen (o, +, ++) basierend auf Regeln**



\*

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

- |   |                       |                       |                       |                       |                       |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|   | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |
| 1. Wahrscheinlichkeitskarte                         | <input type="radio"/> |
| 2. Punkte auf einer Karte mit vermuteter Position   | <input type="radio"/> |
| 3. Angabe des am wahrscheinlichsten Quadranten      | <input type="radio"/> |
| 4. Punkte mit Liste positiver Befunde und Tendenzen | <input type="radio"/> |

1 = "gar nicht" bis 5 = "sehr".

**11 Das strikte Einhalten der "5-Phasen Taktik" verspricht den größten Erfolg bei einem Ortungseinsatz. Ist es für Sie selbstverständlich diese einzuhalten? \***

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- 1  
 2

- 3
- 4
- 5

1 = "trifft nicht zu" bis 5 = "trifft völlig zu"

**12 Warum ist das Einhalten der "5-Phasen Taktik" nicht selbstverständlich?**

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

° Antwort war gleich oder kleiner als bei Frage '11 [5Phasen]' (Das strikte Einhalten der "5-Phasen Taktik" verspricht den größten Erfolg bei einem Ortungseinsatz. Ist es für Sie selbstverständlich diese einzuhalten?)

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	1	2	3	4	5
Anwendbarkeit hängt vom Ortungseinsatz ab	<input type="radio"/>				
Zeitdruck	<input type="radio"/>				
es gibt effizientere Methoden	<input type="radio"/>				
Einhalten unter Stress schwierig	<input type="radio"/>				

1 = "trifft nicht zu" bis 5 = "trifft völlig zu"

**13 Haben Sie schon einmal positive Ortungsbefunde nicht weitergegeben, da es bloß ungewisse Ortungsbefunde waren?**

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

° Die Antwort war 'Ja' bei Frage '4 [Entscheidungserfahre]' (Bei Ortungseinsätzen mit Verschütteten müssen verschiedene Entscheidungen getroffen werden. Welche der folgenden Dinge haben Sie (persönlich, alleine) bei einem solchen Einsatz schon einmal entschieden? (Ob ein ungewisses positives Ortungsergebnis auf einen Verschütteten hinweist oder nicht))

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja
- Nein

**14 Sind Sie Sich auch bei einem mehrtägigen Einsatz immer im Klaren darüber, wo bereits erfolglos gesucht worden ist? \***

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

1 = "trifft nicht zu" bis 5 = "trifft völlig zu"

**15 Stellt für Sie der Informationsfluss eine Herausforderung dar? \***

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja
- Nein

**16 Welcher der folgenden Gründe erschweren den Informationsfluss?**

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

° Die Antwort war 'Ja' bei Frage '15 [Fluss]' (Stellt für Sie der Informationsfluss eine Herausforderung dar?)

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	1	2	3	4	5
Anzahl der Informationen	<input type="radio"/>				

Einschätzung der Richtigkeit

Vielfachheit der Themengebiete (Gefahren, Vermutungen, Augenzeugen, etc.)

mir ist nicht klar wer die Information benötigt

1 = "trifft nicht zu" bis 5 = "trifft völlig zu"

### 17 Reichen die vorhandenen Kommunikationsmittel aus, Meldungen zeitnah weiterzugeben? \*

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- 1  
 2  
 3  
 4  
 5

1 = "nie" bis 5 = "immer"

### 18 Falls die Kommunikationsmittel nicht ausreichen, auf welche greifen Sie am ehesten zurück?

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

° Antwort war gleich oder kleiner als bei Frage '17 [kom\_mittel]' (Reichen die vorhandenen Kommunikationsmittel aus, Meldungen zeitnah weiterzugeben?)

Bitte nummerieren Sie jede Box in der Reihenfolge Ihrer Präferenz, beginnen mit 1 bis 6

- Telefon  
 Fax  
 SMS  
 persönliche Übertragung durch einen Melder  
 Satellitentelefon  
 Internet

### 19 Schadenskonten helfen in Lagekarten die Übersicht zu behalten. Würden Sie bevorzugen, taktische Symbole immer direkt in die Lagekarte platzieren zu können, um die räumliche Zuordnung nicht zu verlieren? \*

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

----- Szenario 1 -----

Die Antwort war 'Ja' bei Frage '4 [Entscheidungserfahre]' (Bei Ortungseinsätzen mit Verschütteten müssen verschiedene Entscheidungen getroffen werden. Welche der folgenden Dinge haben Sie (persönlich, alleine) bei einem solchen Einsatz schon einmal entschieden? (Wo Ortungsmaßnahmen eingeleitet werden))

----- oder Szenario 2 -----

Die Antwort war 'Ja' bei Frage '4 [Entscheidungserfahre]' (Bei Ortungseinsätzen mit Verschütteten müssen verschiedene Entscheidungen getroffen werden. Welche der folgenden Dinge haben Sie (persönlich, alleine) bei einem solchen Einsatz schon einmal entschieden? (Ob Bergungs- bzw. Rettungsmaßnahmen eingeleitet werden))

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja  
 Nein

### 20 Aus welchem der folgenden Gründe würden Sie die taktischen Symbole nicht direkt am Ort des Geschehens auf der Karte zu platzieren?

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

° Die Antwort war 'Nein' bei Frage '19 [lage]' (Schadenskonten helfen in Lagekarten die Übersicht zu behalten. Würden Sie bevorzugen, taktische Symbole immer direkt in die Lagekarte platzieren zu können, um die räumliche Zuordnung nicht zu verlieren?)

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	1	2	3	4	5
Vermindert Übersichtlichkeit	<input type="radio"/>				
ich habe immer alles im Blick	<input type="radio"/>				
andere organisatorische Infos könnten nicht dargestellt werden	<input type="radio"/>				

1 = "trifft nicht zu" bis 5 = "trifft völlig zu"

**21 Aus welchem der folgenden Gründe würden Sie die taktischen Symbole direkt am Ort des Geschehens auf der Karte zu platzieren?**

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**  
 ° Die Antwort war 'Ja' bei Frage '19 [lage]' (Schadenskonten helfen in Lagekarten die Übersicht zu behalten. Würden Sie bevorzugen, taktische Symbole immer direkt in die Lagekarte platzieren zu können, um die räumliche Zuordnung nicht zu verlieren?)

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	1	2	3	4	5
räumliche Zuordnung ist immer klar	<input type="radio"/>				
kann Maßnahmen und Zustände besser übersehen	<input type="radio"/>				
Organisatorische Informationen habe ich immer im Blick	<input type="radio"/>				

1 = "trifft nicht zu" bis 5 = "trifft völlig zu"

Die Ergebnisse der Umfrage sind in folgenden Veröffentlichungen zu finden: [6, 9].

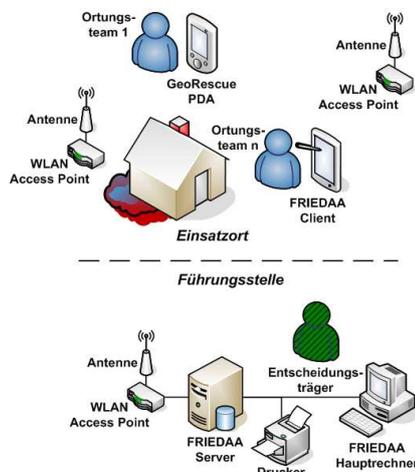
## A.3 Online-Fragebogen zur Einsatztauglichkeit des Demonstrator- IT-Systems



### Feedback Einsatztauglichkeit IT-System FRIEDAA

Diese Befragung dient dazu die gemachten Erfahrungen mit dem IT-System FRIEDAA und der PDA Software GeoRescue v2.0 festzuhalten.

Haben Sie Erfahrungen mit dem IT-System FRIEDAA gesammelt, indem Sie in der Führungsstelle mit der Desktop Applikation FRIEDAA oder im Feld auf dem PDA GeoRescue benützt haben? Teilen Sie uns bitte diese Erfahrungen mit. Auch wenn Sie Anregungen oder Veränderungswünsche haben, so sind diese immer willkommen.



Diese Umfrage enthält 28 Fragen.

### Computergestützte Einsatzbewältigung

Hier werden allgemeine Fragen gestellt.

**1 Haben Sie den Eindruck, dass ein IT-System wie FRIEDAA mit der PDA Software GeoRescue einen Vorteil bei der Bewältigung von Ortungseinsätzen bringt? \***

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- 1  
 2  
 3  
 4  
 5

1 = "sicherlich" bis 5 = "überhaupt nicht"

**2 Nimmt die Kontrollmöglichkeit durch andere eher zu, bleibt sie gleich oder nimmt sie eher ab, wenn bei einem Einsatz ein IT-System wie FRIEDAA benützt wird? Bewerten Sie folgende Personengruppen. \***

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

Zunahme      Unverändert      Abnahme

	Zunahme	Unverändert	Abnahme
Vorgesetzte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kollegen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gesellschaft	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Richter	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**3 Welcher Einheit gehören Sie an? \***

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Feuerwehr
- Biologische Ortung
- Technische Ortung
- Bergung
- Medizinische Rettung
- Einsatzführung
- Sonstiges

**4 Stufen Sie Ihre Computerkenntnisse ein. \***

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	1	2	3	4	5
WLAN Verbindungen	<input type="radio"/>				
Internet - Formulare	<input type="radio"/>				
taktile Bildschirme	<input type="radio"/>				
Anwendungsprogramme	<input type="radio"/>				
IT-Systeme	<input type="radio"/>				

1 = "Experte" bis 5 = "unerfahren"

## FRIEDAA

Hier gilt es Erfahrungen und Anregungen bzgl. der Desktop Applikation FRIEDAA festzuhalten.

### 5 Haben Sie Erfahrung mit der Applikation FRIEDAA gemacht? \*

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja  
 Nein

### 6 Wie fanden Sie die Erfassung von Ortungs-relevanter Information mit der FRIEDAA Desktop Applikation? \*

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

° Die Antwort war 'Ja' bei Frage '5 [Eingang]' (Haben Sie Erfahrung mit der Applikation FRIEDAA gemacht?)

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	1	2	3	4	5
Ortungsbefunde	<input type="radio"/>				
Drag & Drop taktische Zeichen	<input type="radio"/>				
Opferinformationen bzw. gefundene Personen	<input type="radio"/>				
Augenzeugenberichte	<input type="radio"/>				
Flächenbefunden (z.B. Gefahrenzonen, abgesuchte Flächen, etc.)	<input type="radio"/>				

1 = "sehr einfach" bis 5 = "zu schwer"

### 7 Was kann man besser machen? Bitte erläutern Sie Ihre Anregungen.

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

° Die Antwort war 'Ja' bei Frage '5 [Eingang]' (Haben Sie Erfahrung mit der Applikation FRIEDAA gemacht?)

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

### 8 Wie fanden Sie die Darstellung von Information im FRIEDAA IT-System? \*

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

° Die Antwort war 'Ja' bei Frage '5 [Eingang]' (Haben Sie Erfahrung mit der Applikation FRIEDAA gemacht?)

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	1	2	3	4	5
Vermisstenliste	<input type="radio"/>				

	1	2	3	4	5
gefährdete Einsatzkräfte	<input type="radio"/>				
Karten mit mehreren horizontalen Schichten	<input type="radio"/>				
Augenzeugenliste	<input type="radio"/>				
Schichtenverwaltung	<input type="radio"/>				

1 = "sehr übersichtlich" bis 5 = "völlig unübersichtlich"

### 9 Was kann man bei der Darstellung verbessern?

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

° Die Antwort war 'Ja' bei Frage '5 [Eingang]' (Haben Sie Erfahrung mit der Applikation FRIEDAA gemacht?)

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

### 10 Wie fanden Sie die Verarbeitung von Information mit Hilfe des FRIEDAA IT-Systems? \*

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

° Die Antwort war 'Ja' bei Frage '5 [Eingang]' (Haben Sie Erfahrung mit der Applikation FRIEDAA gemacht?)

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	1	2	3	4	5
Zentrale Verwaltung aller Information	<input type="radio"/>				
Gefährdete Einsatzkräfte	<input type="radio"/>				
Targets: Fusion von ungewissen Ortungsbefunden für die Bestimmung des Ortes von weiteren Maßnahmen	<input type="radio"/>				
Eingabemasken: Auswahl bereits erfasster Info mit Modifikationsoption	<input type="radio"/>				

1 = "sehr nützlich" bis 5 = "überflüssig"

### 11 Was kann man bei der Verarbeitung besser machen? Gibt es andere Funktionen, die Ihnen sinnvoll und nützlich erscheinen?

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

° Die Antwort war 'Ja' bei Frage '5 [Eingang]' (Haben Sie Erfahrung mit der Applikation FRIEDAA gemacht?)

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

**12 Wie fanden Sie die Bedienung im Allgemeinen? \***

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**

° Die Antwort war 'Ja' bei Frage '5 [Eingang]' (Haben Sie Erfahrung mit der Applikation FRIEDAA gemacht?)

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

1 = "sehr gut" bis 5 = "nicht benutzbar"

## GeoRescue v2.0

Hier gilt es Erfahrungen und Anregungen bzgl. der PDA Software GeoRescue v2.0 festzuhalten.

### 13 Haben Sie Erfahrung mit der PDA Software GeoRescue v2.0 gemacht? \*

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja  
 Nein

### 14 Hat Sie die Eingabe von Information bei der Bewältigung Ihrer Aufgabe während des Einsatzes gestört? \*

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

° Die Antwort war 'Ja' bei Frage '13 [PDA\_Erfahrung]' (Haben Sie Erfahrung mit der PDA Software GeoRescue v2.0 gemacht?)

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- 1  
 2  
 3  
 4  
 5

1 = "gar nicht" bis 5 = "sehr hinderlich"

### 15 Welche Vorteile sehen Sie bei der Benutzung von GeoRescue? \*

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

° Die Antwort war 'Ja' bei Frage '13 [PDA\_Erfahrung]' (Haben Sie Erfahrung mit der PDA Software GeoRescue v2.0 gemacht?)

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	1	2	3	4	5
Vereinfachte Mitteilung von Positionen an die Führungsstelle	<input type="radio"/>				
Keine Information wird vergessen	<input type="radio"/>				
Alle Information wird mit richtigem Zeitstempel abgespeichert	<input type="radio"/>				
Informationen können nachgereicht werden	<input type="radio"/>				

1 (= großer Vorteil) - (= gar kein Vorteil)

### 16 Wie fanden Sie die Bedienung im Allgemeinen? \*

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

° Die Antwort war 'Ja' bei Frage '13 [PDA\_Erfahrung]' (Haben Sie Erfahrung mit der PDA Software GeoRescue v2.0 gemacht?)

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- 1  
 2

- 3
- 4
- 5

1 = "sehr gut" bis 5 = "nicht benutzbar"

**17 Wie viel Zeit haben Sie gebraucht, um zu verstehen, wie GeoRescue v2.0 funktioniert? \***

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**

° Die Antwort war 'Ja' bei Frage '13 [PDA\_Erfahrung]' (Haben Sie Erfahrung mit der PDA Software GeoRescue v2.0 gemacht?)

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

in Minuten

**18 Was kann man bei der GeoRescue Applikation besser machen. Was hat sie gestört, was fanden Sie gut?**

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**

° Die Antwort war 'Ja' bei Frage '13 [PDA\_Erfahrung]' (Haben Sie Erfahrung mit der PDA Software GeoRescue v2.0 gemacht?)

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

**19 Konnten Sie den Bildschirm bei Tageslicht immer gut lesen?**

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**

° Die Antwort war 'Ja' bei Frage '13 [PDA\_Erfahrung]' (Haben Sie Erfahrung mit der PDA Software GeoRescue v2.0 gemacht?)

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

1 = "immer" bis 5 = "gar nicht"

## Abschließende Fragen

Folgende Fragen betreffen die Zukunft der IT-Systeme für die Entscheidungsunterstützung bei Einsätzen und um die Zukunft des FRIEDAA IT-Systems.

### 20 Hatten Sie den Eindruck beim Einsatz vom IT-System FRIEDAA kontrolliert zu werden? \*

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- 1  
 2  
 3  
 4  
 5

1 = "gar nicht" bis 5 = "sehr"

### 21 Haben Sie den Eindruck, dass mit FRIEDAA Unterstützung ein Einsatz insgesamt effizienter sein könnte? \*

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja  
 Nein

### 22 Haben Sie während der Übung ungewisse Ortungsbefunde in das FRIEDAA IT-System eingegeben? \*

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja  
 Nein

### 23 Warum haben Sie keine ungewissen Ortungsbefunde eingegeben? \*

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

° Die Antwort war 'Nein' bei Frage '22 [ungewiß]' (Haben Sie während der Übung ungewisse Ortungsbefunde in das FRIEDAA IT-System eingegeben?)

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	1	2	3	4	5
es gab keine verschütteten Opfer	<input type="radio"/>				
Ortungsbefunde waren gewiss	<input type="radio"/>				
Ungewisse Befunde sind nicht zielführend	<input type="radio"/>				
es gibt keine ungewissen Ortungsbefunde	<input type="radio"/>				

1 (=trifft voll zu) bis 5 (=trifft gar nicht zu)

### 24 Wie sind Sie mit dem ungewissen Ortungsbefunde umgegangen? \*

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**  
 ° Die Antwort war 'Ja' bei Frage '22 [ungewiß]' (Haben Sie während der Übung ungewisse Ortungsbefunde in das FRIEDAA IT-System eingegeben?)

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	1	2	3	4	5
Wir haben nochmal geortet	<input type="radio"/>				
Wir haben mit einer andere Ortungsmethode nochmal geortet	<input type="radio"/>				
Wir sind gezielt zum vermuteten Opfer vorgedrungen (Bergungsmassnahmen)	<input type="radio"/>				
Wir haben den ungewissen Befund nicht weiter beachtet	<input type="radio"/>				
Vergleich mit anderen Ortungsergebnissen an der selben Stelle als Entscheidungsgrundlage zum weiteren Vorgehen	<input type="radio"/>				

1 (=trifft voll zu) bis 5 (=trifft gar nicht zu)

**25 Glauben Sie, dass Einsatzkräfte in Zukunft durch Computer am Einsatzort unterstützt werden? \***

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

1  
 2  
 3  
 4  
 5

1 = "eher nicht" bis 5 = "eher schon"

**26 Glauben Sie das IT-System FRIEDAA könnte so verbessert werden, dass es von Vorteil wäre FRIEDAA auch bei richtigen Einsätzen zu benützen? \***

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

Ja  
 Nein

**27 Welche Funktionen müssten unbedingt verbessert werden?**

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**  
 ° Die Antwort war 'Ja' bei Frage '26 [FRIEDAA]' (Glauben Sie das IT-System FRIEDAA könnte so verbessert werden, dass es von Vorteil wäre FRIEDAA auch bei richtigen Einsätzen zu benützen?)

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

**28**

**Was sind die Hauptgründe, warum es keine Zukunft für das IT-System FRIEDAA gibt?**

**Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:**

° Die Antwort war 'Nein' bei Frage '26 [FRIEDAA]' (Glauben Sie das IT-System FRIEDAA könnte so verbessert werden, dass es von Vorteil wäre FRIEDAA auch bei richtigen Einsätzen zu benutzen?)

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

**Tabelle A.3:** Messergebnisse eines Experiments mit dem monostatischem Radarsystem (Bioradar BR402 der Firma BOS) zum Auffinden eines simulierten Ziels im Boden.

<b>Befund</b>	<b>Position Antenne <math>x_M</math></b>		<b>Richtung Antenne <math>\Psi_M</math></b>			<b>Ergebnis</b>
	$x$	$y$	$x$	$y$	$z$	
$x_{M_i}$						$x_B$
1	A	1	0	0	1	0
2	A	2	0	0	1	0
3	A	3	0	0	1	0
4	B	1	0	0	1	0
5	B	2	0	0	1	0
6	B	2	0	0	1	0
7	B	3	0	0	1	1
8	B	3	0	0	1	1
9	B	3	1	0	1	0
10	B	4	0	0	1	0
11	C	1	0	0	1	0
12	C	1	0	1	1	0
13	C	2	0	0	1	1
14	C	2	0	1	1	0
15	C	2	0	1	1	0
16	C	2	0	0	1	1
17	C	3	0	0	1	1
18	C	3	0	0	1	1
19	C	4	0	0	1	1
20	C	4	0	0	1	1
21	D	1	0	0	1	0
22	D	2	0	0	1	1
23	D	2	0	0	1	1
24	D	3	0	0	1	1
25	D	4	0	0	1	1
26	D	4	0	0	1	1
27	D	4	0	0	1	1
28	E	1	0	0	1	0
29	E	2	0	0	1	0
30	E	3	0	0	1	0

## A.4 Evaluation der I-LOV-Technologien durch das THW

In den folgenden drei Abschnitten A.4.1–A.4.3 werden aus dem „Evaluationsprotokoll – Erprobung der Demonstratoren“ des THW<sup>1</sup> nur die Fragen aufgelistet. Diese waren mit sieben Stufen (1 = „ja, auf jeden Fall“ – 7 = „nein, auf keinen Fall“) zu bewerten.

Zusätzlich standen den Befragten zwei Freitextfelder (nicht dargestellt) zur Verfügung, um sich über vermisste oder überflüssige Funktionen zu äußern und Kommentare abzugeben.

Die Ergebnisse der Evaluation des IT-Systems sind in Abschnitt A.4.4 zu finden.

Im Abschnitt A.4.5 wird die Eignung des Fragebogens zur Evaluation des IT-Systems diskutiert.

### A.4.1 Einweisung

1. Das Einsatzspektrum des Demonstrators ist deutlich geworden (Wozu dient das Gerät? Wo liegen die Grenzen der Technologie? Welchen Einsatzradius hat das Gerät?)
2. Die Handhabung des Geräts ist verständlich dargestellt worden (Ziel ist nicht der sichere Umgang mit dem Gerät, sondern das Gefühl: „ich traue mir einen ersten Test mit dem Gerät zu“.)
3. Die Auswertung der Geräteanzeigen (Ergebnisinterpretation) ist in der Einweisung verständlich geworden (Dabei geht es nicht um einen versierten Umgang mit dem Gerät, sondern vielmehr um die Frage, ob überhaupt „ansatzweise“ eine Ergebnisinterpretation möglich ist.)
4. Die ausgeteilte Kurzbeschreibung ist ausreichend

### A.4.2 Handhabung

5. Der Demonstrator ist gut zu handhaben. Die benötigten Sensoren / Antennen / Steuereinheiten sind gut zu transportieren
6. Der Aufbau der Geräte ist überall möglich. Die Geräte arbeiten für den Zeitraum einer Messung (energie-) autark.
7. Der Aufbau der Demonstratoren erfolgte problemlos. Mit der ersten Ortung / Eingabe / Messung konnte zügig begonnen werden. Dauer von Beginn der Erprobung bis zum Geräteeinsatz in Minuten:
8. Der Demonstrator lässt sich auch über längere Zeit problemlos bedienen (Ergonomie).
9. Ein zur Messung von Ortungsergebnissen geeigneter Ort wurde gefunden / konnte mit THW-Gerät geschaffen werden
10. Der Demonstrator konnte problemlos in Stellung (Messposition) gebracht werden. (Das Einbringen des Sensors an eine geeignete Stelle war – gegebenenfalls nach Schaffung eines Zugangs – möglich.) Konnte die Aufgabe mit dem Demonstrator durchgeführt werden?

---

<sup>1</sup>Dieser wurde beim Workshop des THW zur Evaluation der I-LOV-Demonstratoren vom 6.–10. Mai 2011 in Hoya ausgehändigt.

11. Das augenblicklich durch das Ortungsgerät erfasste Gebiet (Ortungsbereich) ist bekannt. (Messwinkel, Eindringtiefe in die Trümmer bzw. Ort der Messsonde sind bekannt.)
12. Der Demonstrator kann problemlos durch die Trümmer bewegt werden.
13. Die Anzeige des Demonstrators ist gut ablesbar.
14. Eine Kommunikation mit dem Verschütteten ist mittels des Demonstrators möglich.
15. Es können alle zur Verfügung stehenden Sensoren eingesetzt werden. (zum Beispiel: Funktionieren alle Sensoren?)
16. Die Anzeige des Demonstrators kann sicher interpretiert werden. Der Ortungsbe- fund / das Messergebnis / die Lagedarstellung ist unmissverständlich.
17. Bei Fehlern (zum Beispiel Spannungsversorgung, Verkeilen des Demonstrators, Messfehlern, Falscheingaben) macht das Gerät frühzeitig darauf aufmerksam. Bei akuter Gefahr warnt das Gerät selbstständig.
18. Die Rückführung des Demonstrators (Herausziehen aus den Trümmern) ist proble- mlos möglich.
19. Die Reinigung / Wiederherstellung der Einsatzbereitschaft / Verlastung ist problem- los möglich.

#### **A.4.3 Einsatzwert**

20. Der Einsatz des Demonstrators hat die Ortung beschleunigt
21. Der Einsatz des Demonstrators hat die Sicherheit von Rettungskräften erhöht
22. Der Einsatz des Demonstrators ermöglicht ungewisse Ortungsbefunde zu verifi- zieren.
23. Der Einsatz des Demonstrators erlaubt eine bessere/genauere Darstellung der Or- tungslage

#### **A.4.4 Ergebnisse der Evaluation des IT-Systems**

Die Zusammenfassung der Antworten sind in Tabelle A.4 zusammengefasst. Eine Ana- lyse der Evaluation aller während des I-LOV-Projekts entwickelten Ortungstechnologien aus der Sicht des THW ist in ihrem Abschlussbericht zu finden [189]. Es sei jedoch dar- auf hingewiesen, dass die Evaluation des in dieser Arbeit entwickelten Demonstrator-IT- Systems nicht zwischen zu den zwei weiteren entwickelten Software-Modulen der Pro- jektpartner differenziert. Folgende Aussage erscheint jedoch essentiell:

„Es zeigt sich, dass“ . . . „Durch den Datenfunk der normale Funksprechver- kehr erheblich ausgedünnt wird, da viele Information von System zu System ohne verbale Kommunikation weitergegeben kann.“

Relevant für die Evaluation des in dieser Arbeit vorgestellten Demonstrator-IT-Systems sind die Aussagen, dass die nachträgliche Modifikation von Daten nicht vorgenommen werden kann. Ebenso wurde die Kommunikationsinfrastruktur als nicht ausreichend ro- bust erachtet, was in Hoya auf einen Kabelbruch nach Einsturz des zentralen Anten- nenmasten zurückzuführen ist. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass Informationen persistent verarbeitet werden können, da sie bei WLAN Ausfall zwischengespeichert werden. Außerdem wurde die nicht ausreichende Genauigkeit der GPS-Lokalisierung

moniert, die eine eindeutige Zuordnung von Daten zur jeweiligen Schadenstelle nicht immer erlaubt.

**Tabelle A.4:** Ergebnisse der THW-Evaluation des Demonstrator-IT-Systems. Die Fragen (s. Abschnitt A.4.1–A.4.3) waren mit sieben Stufen (1 = „ja, auf jeden Fall“ – 7 = „nein, auf keinen Fall“) zu bewerten, außer es ist anders gekennzeichnet.

<i>Frage</i>	<i>Mittel [Stufe]</i>	<i>Stichprobenvarianz [Stufe]</i>
1	1,6	0,5
2	1,9	1,3
3	2,6	1,1
4	1,9	1,1
5	2,1	1,2
6	1,7	1,3
7	2,7	1,6
7 Dauer	21,7 min	14,4 min
8	1,8	1,3
9	2,1	1,2
10	2,3	1,3
11	3,8	2,0
12	1,3	0,5
13	2,2	1,2
14	6,9	0,4
15	2,4	2,0
16	2,6	1,2
17	5,3	1,7
18	1,9	1,4
19	1,2	0,4
20	4,1	2,0
21	3,9	2,1
22	5,3	1,9
23	1,7	1,0

#### A.4.5 Diskussion über die die Evaluationsergebnisse des IT-Systems durch das THW

Der Fragebogen wurde vom THW generisch für alle I-LOV-Technologien entwickelt. Aus diesem Grund sind einige Fragen, die auf Ortungsmethoden zugeschnitten sind, für die Evaluation des IT-Systems ungeeignet. Im Folgenden werden die ungeeigneten Fragen vorgestellt.

Frage 9 macht bei der Evaluation des IT-Systems nicht viel Sinn. Der Demonstrator kann überall in Stellung gebracht werden. Deshalb ist Frage 10 auch nicht sehr bedeutsam.

Frage 11 macht keinen Sinn, da das IT-System kein Ortungsgerät ist. Das IT-System könnte jedoch benutzt werden, um zu visualisieren, welcher Raum erfasst worden ist. Dies setzt aber Erfahrungswerte und eine 3D Darstellung voraus.

Die Kommunikation mit dem Verschütteten ist keine Funktion, die in den Spezifikationen des IT-Systems Beachtung gefunden hat. Frage 14 ist deshalb nicht angepasst. Es können mit dem IT-System Messergebnisse aller Ortungsmethoden festgehalten werden, da das IT-System frei konfigurierbar ist. Insofern ist die Frage 15 nur beschränkt bedeutsam.

## **B Gebrauchsanleitungen des Demonstrator-IT-Systems**

Im Folgenden sind die Gebrauchsanleitungen für das Demonstrator-IT-System zu finden. Zum einen handelt es sich dabei um die Personal Digital Assistant Softwareanwendung und zum anderen um die PC-Anwendung für die Führungsstelle. Die PDA-Anwendung wurde zur besseren Akzeptanz durch die Einsatzkräfte GeoRescue genannt. Die PC-Anwendung trägt den Namen FRIEDAA.

## B.1 PDA-Anwendung GeoRescue

### GeoRescue v2.1 Gebrauchsanleitung

Autor: Quirin Hamp  
erstellt am: 22.3.2011  
verändert am: 3.06.2011

#### Zweck der Software

Das Softwareprogramm GeoRescue (Version 2.1) dient Ortungskräften dazu, Ortungsinformationen am Einsatzort georeferenziert zu erfassen und diese an den Entscheidungsträger zu übermitteln, z. B. dem UEAL Ortung. Die Informationen werden dabei in einem zentralen Datenspeicher gesammelt und verarbeitet (Informationsfusion) und werden daraufhin auf einer Karte dargestellt. Diese Kartendarstellung ist Teil des Geoinformationssystems (GIS) FRIEDAA.

#### Hardware

GeoRescue 2.0 läuft auf einem PDA mit Windows Mobile 5.0. Diese Oberfläche ist Windows Betriebssystemen wie XP, Vista, oder 7 sehr ähnlich. Das Gerät verfügt über einen GPS-Empfänger aus dem GPS-Koordinaten ausgelesen und mit zusätzlichen Informationen verbunden werden. Die Bedienung des Systems erfolgt entweder über einen taktilen Bildschirm oder per Knopfdruck, so dass es auch einfach mit Handschuhen zu handhaben ist.

Das Gerät ist robust und im Feld einsatztauglich (Falltest 122 cm, Staub- und Spritzwassergeschützt (IP54), 0 °C bis +45 °C). Die Laufzeit der Batterie beträgt je nach Benützung mehrere Tage.

Abmessungen: 180 mm x 94 mm x 33 mm

Gewicht: 460 g

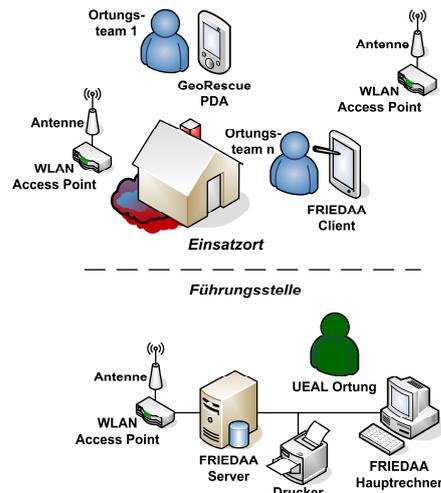


Abbildung 1 Aufbau des FRIEDAA IT-Systems am Einsatzort.

### Inbetriebnahme

Das Gerät vorbereiten:

1. Anschalten des Geräts
2. Anschalten des GPS-Empfängers
3. Anschalten und Verbindung mit WLAN

Die Software:

4. Einstellung des Ortungsteams
5. Adresse zum Applikationsserver
6. ID des Autors



Abbildung 2 Das PDA BOB DA05 von roda (Darstellung ohne GPS Empfänger).

### Hinweise:

- Die Eingabe von georeferenzierten Informationen funktioniert nur bei GPS-Empfang. Falls kein Empfang besteht, ist die Eingabe von Information nicht möglich.
- Es ist bei Inbetriebnahme darauf zu achten, dass GPS-Empfänger und WiFi angeschaltet sind. Der *Wireless Manager* ermöglicht dies. Da der GPS-Empfänger viel Energie verbraucht, sollte er ausgeschaltet werden, falls kein Bedarf besteht.

### Funktionen

Die Software verfügt über drei Ansichten, die per Menü erreichbar sind (s. Abbildung 3). Im Folgenden werden die Funktionen je Ansicht erklärt.

### Die Haupteingabe-Ansicht

In der Haupteingabe-Ansicht kann über das Menü die Art des Ortungsteams eingestellt werden.

Die Einsatzkraft kann dann durch Knopfdruck (Bedienknopf) auf den Button *GPS* eine Koordinate erfassen. Sobald Koordinaten erfasst sind, ändert sich die Beschriftung des Buttons auf *Speichern*. Falls die Koordinaten-Erfassung nicht erfolgreich war, steht in den Feldern **Breite** und **Länge** *GPS Unavailable* oder *COM Port Closed*.

In der unteren Zeile rechts (s. Abbildung 3) wird der Status der Übermittlung der letzten Meldung an die Führungsstelle dargestellt. Falls die Meldung nicht übertragen wurde, so wird darauf mit *Versand ko* hingewiesen. Falls der Versand erfolgreich war, steht *versendet* dort.



Abbildung 3 Die Haupteingabe-Ansicht mit drei Kategorien und einem Kommentarfeld.

Die Einsatzkraft kann, bevor sie auf *Speichern* drückt, unter drei Kategorien von Informationen Zeichen wählen.

### Informationskategorien:

Die klassischen taktischen Zeichen der DV1-102 mit Fokus auf ortungs- und sicherheitsrelevanten Zeichen wurden benutzt und in folgende drei Kategorien gruppiert: Schaden, Gefahr und Person.

Gefahren und Schaden werden als Flächen mit dem angegebenen Radius übertragen. Informationen zu einer Person wird mit einem Punkt assoziiert.

Auch wenn die Einsatzkraft keine der taktischen Zeichen wählt, werden an die Einsatzstelle Informationen bei bestehender WLAN-Verbindung übertragen, falls sie auf den Knopf *Speichern* drückt. Zum einen wird der Umkreis der angegebenen Position als „abgesucht“ markiert und zum anderen wird die aktuelle Position der Einsatzkraft übertragen. Falls diese sich in einer Gefahrenzone befindet, erhält der UEAL eine Warnung. Bei wiederkehrender WiFi-Verbindung werden diese Information mit Verzug mitgeteilt.

In der Flächensuche können größere Radien als in der Trümmersuche sinnvoll sein. Diese Information kann vor jedem „Speichern“ von Information in der Einstellungsseite über die Radiusangabe verändert werden.

Falls keine WLAN Verbindung besteht, wird die Information lokal gespeichert und kann später bei bestehender WLAN Verbindung nachgereicht werden. Dies ist in der sog. Datenübersicht möglich, die nun erklärt wird.

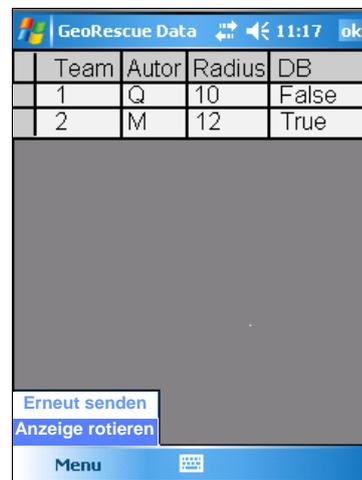
### Die Datenübersicht

Die Datenübersicht dient vor allem dazu, den Übertragungsstatus von Information zu kontrollieren. Hierzu dient die letzte Spalte DB (kurz für Datenbank), die entweder *True* oder *False* Werte annimmt. Falls die Übertragung einer Information nicht erfolgreich war, so ist die entsprechende Zeile als *False* markiert.

Falls Informationen nicht erfolgreich übertragen wurden, kann dies nachholt werden, indem im Menü auf *Erneut senden* gedrückt wird. Alle Informationen, die noch nicht übertragen worden sind, werden dann erneut gesendet.

Informationskategorien und Ortungsteams werden Zahlen zugeordnet (s. Tabelle im Anhang).

Um zurück zum Haupteingabeansicht zu gelangen, muss in der Kopfzeile auf *ok* gedrückt werden.



Team	Autor	Radius	DB
1	Q	10	False
2	M	12	True

Erneut senden  
Anzeige rotieren  
Menu

Abbildung 4 Die kompakte Datenübersicht in Tabellenform.

Die Anzeige der Datenübersicht kann auch rotiert werden.

Die Indices der gewählten taktischen Zeichen sind in der Spalte „type“ aufzufinden, wobei „p“ für Person, „g“ für Gefahr und „s“ für Schaden steht.

## Die Einstellungsseite

Folgende Einstellungen können vorgenommen werden:

**url:** Adresse zum Applikationsserver

**ID:** Urheber von Information. Es kann sich um eine Person oder eine Gruppe handeln.

**Einheit:** Typ der Ortungsmethode, die der Suchtrupp mit sich führt

Um die url zu ändern, muss auf den Button *Ändern* gedrückt werden.

Das Abspeichern von Veränderungen wird durch das Drücken auf *Speichern* in der Fußzeile erreicht. Die Haupteingabe-Ansicht wird dann automatisch angezeigt.

Abbildung 5 Die Einstellungsseite.

**Hinweis:** Das Verändern der ID während eines Einsatzes sollte vermieden werden und es sollte immer der gleiche Name benützt werden.

## Anhang

Die Darstellung der Datenübersicht ist kompakt. Anhand folgender Tabelle kann die Einheit - auch Team genannt - in der Datenübersicht aufgeschlüsselt werden.

Tabelle 1 Die IDs der Einheiten in der Ansicht.

EINEIT	EINHEIT ID
Mensch	0
Hund	1
Bioradar	2
Geophon	3
Endoskop	4
Roboter	5

## B.2 PC-Anwendung FRIEDAA

### Gebrauchsanleitung für FRIEDAA

---

Quirin Hamp

Erstellt am 8.4.2011

#### Zweck des Dokuments:

Dieses Dokument dient Schulungszwecken für die Softwareanwendung FRIEDAA. Diese Anwendung wurde für die Führungsstelle entwickelt und stellt das zentrale Modul des gleichnamigen FRIEDAA IT-Systems dar. Es erklärt die Funktionen, die dem Anwender zur Verfügung stehen.

#### Inhaltsverzeichnis

Infrastruktur FRIEDAA .....	2
Funktion von FRIEDAA .....	2
Übersicht graphische Benutzeroberfläche .....	3
Konfiguration von FRIEDAA.....	4
Eingabe einer neuen Ebene .....	4
Der Stileditor.....	4
Darstellung von Information .....	5
Zoomtools.....	5
Kategorienfilter.....	6
Info-Tool .....	7
Liste der Vermissten .....	8
Erfassung von Information .....	9
Drag und Drop von taktischen Zeichen .....	9
Augenzeugenberichte .....	9
Ergebnisse von Ortungsmaßnahmen .....	12
Eingabe Fundort eines Verschütteten.....	13
Erstellung eines Flächenbefundes.....	14
Auswertung von Informationen .....	16
Targets – ein Handlungsvorschlag zur Bergung von Verschütteten.....	16
Warnung - Gefährdete Einsatzkräfte.....	16

### **Infrastruktur FRIEDAA**

FRIEDAA basiert auf dem Geoinformationssystem (GIS) uDig von Refrations Research. Informationen werden zentral in einer Postgresql Datenbank verwaltet, die mit dem örtlichen Modul PostGIS erweitert worden ist – dem WebFeatureServer (WFS). Kartenmaterial kann entweder in Form von Dateien integriert werden oder ein WebMapServer (WMS) kann angeschlossen werden. Letzteres benötigt eine robuste Verbindung zum WMS.

Mehrere Computer können auf den WMS und den WFS zugreifen und werden bei Eingabe neuer Information untereinander synchronisiert.

### **Funktion von FRIEDAA**

FRIEDAA dient vor allem zur Darstellung und Verarbeitung von im Feld erfassten Informationen während eines Ortungseinsatzes. Im Feld werden Informationen vor allem über das Softwareprogramm GeoRescue (aktuelle Version 2.1) auf einem einsatztauglichen PDA erfasst. Information kann auch nachträglich ins IT-System über die Softwareanwendung FRIEDAA in der Führungsstelle eingepflegt werden.

Viele der zur Darstellung von georeferenzierten Information angebotenen Funktionen basieren auf dem Programm uDig. FRIEDAA ist eine speziell konfigurierte und erweiterte Version von uDig, die den Konfigurations-Aufwand für die Nutzer minimal halten soll. Layers werden automatisch zugefügt, sowie Projekte automatisch erzeugt. Die Anbindung an den WFS des FRIEDAA IT-Systems erfolgt z. B. automatisch. Die Eingabe von Meta-Information wird meistens durch Interaktion mit der Karte ermöglicht.

## Übersicht graphische Benutzeroberfläche

Mit der FRIEDAA Softwareanwendung können mehrere horizontale Ebenen – auch Karten genannt - definiert werden. Diese „2D+1“ Darstellung von mehreren Karten dient vor allem bei Einsätzen in teileingestürzten Gebäuden. Die Anzahl der Ebenen kann zu Beginn sowie während des Einsatzes verändert werden.

Abbildung 1 gibt eine Übersicht über die grafische Benutzeroberfläche der FRIEDAA Softwareanwendung, die in drei Teile strukturiert ist:

1. Kartendarstellung
2. Konfiguration der Kartendarstellung über Schichtenverwaltung
3. Übersicht Metainformation



Abbildung 1 Die graphische Benutzeroberfläche von FRIEDAA.

## Konfiguration von FRIEDAA

### Eingabe einer neuen Ebene

Erstellung einer neuen Ebene für Einsätze über mehrere Ebenen: Es können nur horizontale Ebenen eingegeben werden.

Abbildung 2 Eingabemaske für eine neue Ebene.

### Der Stileditor

Mit dem Stileditor kann man die graphische Erscheinung von Information basierend auf einer Schicht der Karte verändern. Jede Schicht kann dabei individuell konfiguriert werden.

Abbildung 3 Stileditor für die Darstellung einer Schicht oder eines Feature-Punkts.

### Darstellung von Information

Informationen werden entweder georeferenziert auf einer Karte (s. Kartendarstellung) oder in Tabellen (s. Übersicht Meta-Information in Abbildung 1) dargestellt.

### Zoomtools

Das Zoom ist eine wichtige Funktionalität für ein Geoinformationssystem. Folgende Grafiken führen in die verschiedenen Zoom-Möglichkeiten ein.

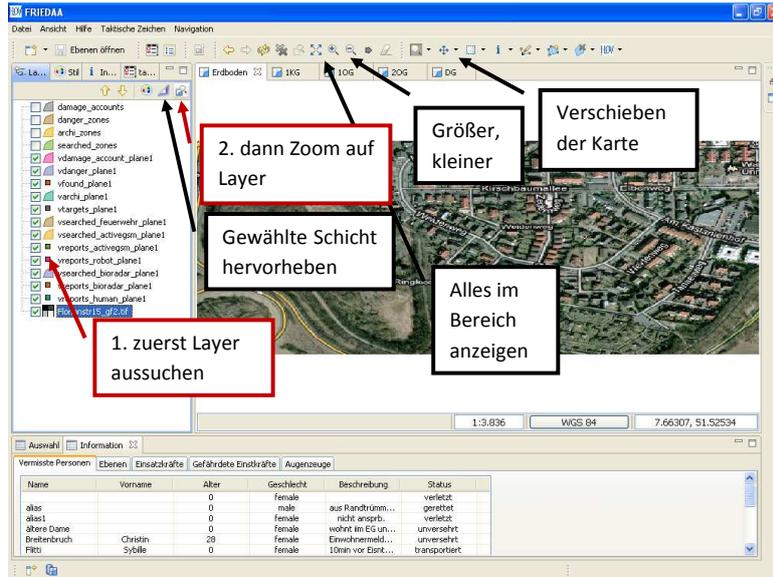


Abbildung 4 Verschiedene Zoom- und Ansicht-Funktionen.

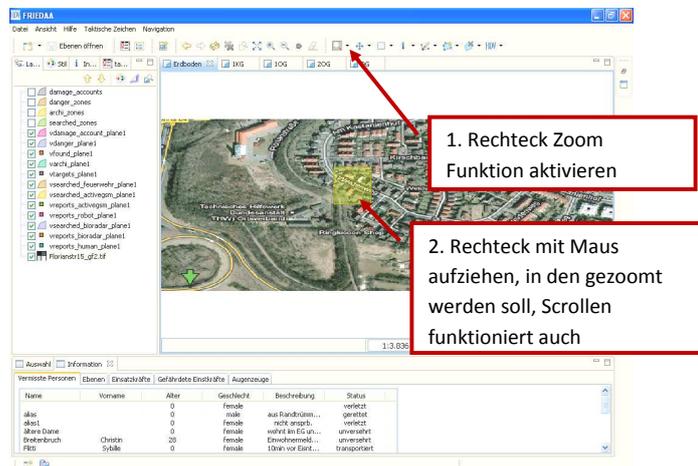


Abbildung 5 Zoom über rechteckigen Auswahlrahmen.

### Kategorienfilter

Nur wenn Schichten (d. h. Layers) aktiviert sind, werden sie dargestellt<sup>1</sup>. Es sei darauf hingewiesen, dass neu eingegebene Information nicht angezeigt wird, falls die jeweilige Schicht deaktiviert ist.

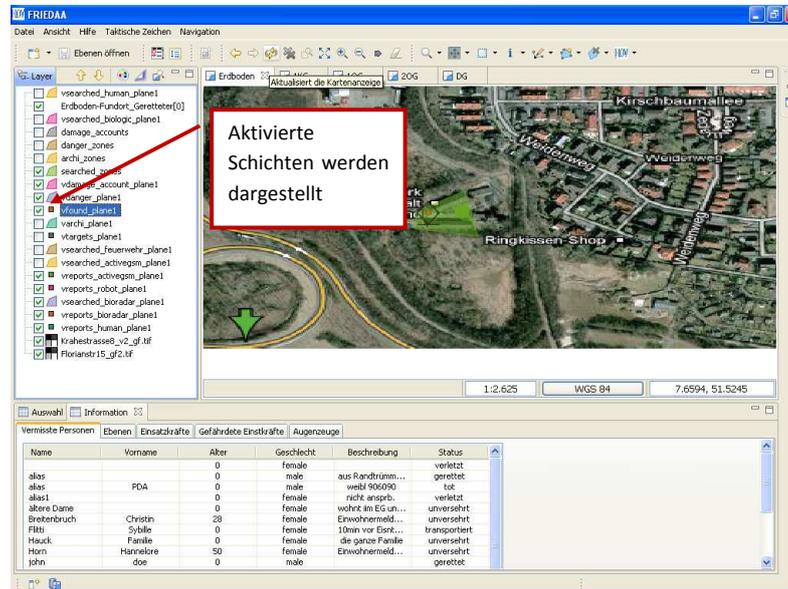


Abbildung 6 Das Ein- und Ausschalten von Schichten ist der Kategorienfilter.

<sup>1</sup> Eine Ausnahme stellen die Opferschichten dar, die nie dargestellt werden.

## Info-Tool

Das Info-Tool ist nützlich, um Meta-Information über georeferenzierte Zeichen (d. h. taktische Zeichen oder andere Symbole auf der Karte) einzusehen. Ein Klick auf die Karte und alle Informationen werden angezeigt, die zur angeklickten Position verfügbar sind (s. Abbildung 7).

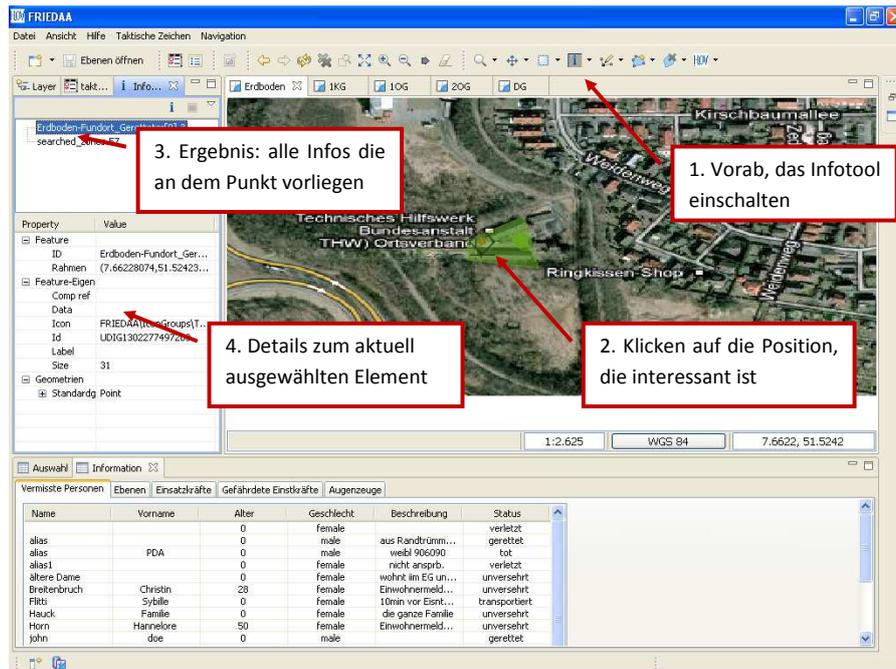
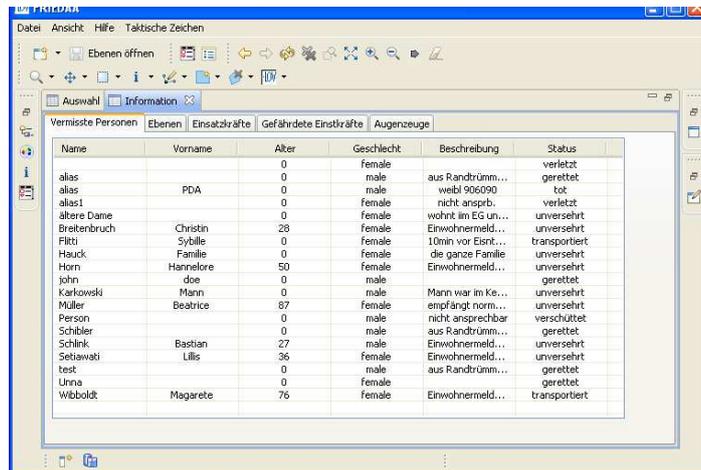


Abbildung 7 Mit dem Info-Tool kann man Information an einem Ort auf der Karte suchen und einsehen.

### Liste der Vermissten

Die Liste der Vermissten stellt die Details zu jeglichem Vermissten und seinem aktuellen Status (s. Abbildung 8) dar. Vermisste können entweder über Augenzeugenberichte oder Fundorte eingegeben werden. Die verschiedenen Status ermöglichen eine Gegenüberstellung der vermeintlich Vermissten und der Gefundenen.



Name	Vorname	Alter	Geschlecht	Beschreibung	Status
alias		0	female		verletzt
alias		0	male	aus Randrüm...	gerettet
alias	PDA	0	male	weibl 906090	tot
alias		0	female	nicht anspr...	verletzt
ältere Dame		0	female	wohnt im EG un...	unversehrt
Breitenbruch	Christin	28	female	Einwohnermeld...	unversehrt
Flitti	Sybillie	0	female	10min vor Eisnt...	transportiert
Hauck	Famille	0	female	die ganze Familie	unversehrt
Horn	Hannelore	50	female	Einwohnermeld...	unversehrt
jahn	das	0	male		gerettet
Karkowski	Mann	0	male	Mann war im Ke...	unversehrt
Müller	Beatrice	87	female	empfängt norm...	unversehrt
Person		0	male	nicht ansprechbar	verschüttet
Schbler		0	male	aus Randrüm...	gerettet
Schliak	Bastian	27	male	Einwohnermeld...	unversehrt
Setawati	Lilis	36	female	Einwohnermeld...	unversehrt
test		0	male	aus Randrüm...	gerettet
Unna		0	female		gerettet
Wibboldt	Magarete	76	female	Einwohnermeld...	transportiert

Abbildung 8 Die globale Liste der Vermissten mit ihrem jeweiligen Status.

## Erfassung von Information

Es ist zu unterscheiden ob Informationen lokal oder auf dem Server gespeichert werden. Nicht alle Drops von taktischen Zeichen werden im Server hinterlegt. Sie werden in einer sog. Shapefile Datei lokal gespeichert. Gefahren und Befunde werden im WFS gespeichert.

## Drag und Drop von taktischen Zeichen

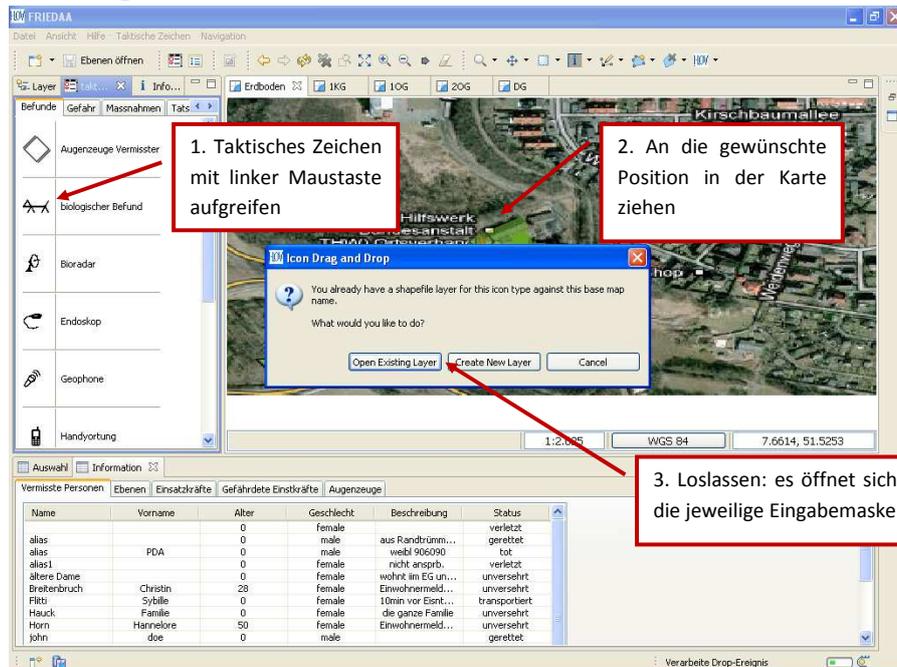


Abbildung 9 Eingabe über Drop von taktischen Zeichen: Zeichen anklicken und geklickt halten, an die gewünschte Position ziehen und dann gedrückte Maustaste lösen. Es öffnet sich automatisch die dem Zeichen zugeordnete Eingabemaske.

## Augenzeugenberichte

Diese Art von Information beinhaltet zum einen Information über den Vermissten selbst. Zuerst gilt es bereits eingegangene Informationen zu überprüfen. Dann wird Information zum Augenzeugen eingegeben, um ihn ggf. kontaktieren zu können. Zuletzt wird Information über die vermeintliche Position der Person eingegeben (s. Abbildung 10 - Abbildung 12). Informationen können bei wiederholter Eingabe aktualisiert oder korrigiert werden.

Um Information über Vermisste oder Augenzeugen zu aktualisieren, muss auf den Button „Modifikation“ gedrückt werden. Erst nach Speichern, kann man dann auf die nächste Seite gelangen.

**Neuer Augenzeugenbericht**

**Identifizierbarer Vermisster**

Bitte geben Sie die Details der vermissten Person an!

ID des Identifizierten:  Modifikation

Nachname:

Vorname:

Geschlecht:  männlich  weiblich

Identifiable:

Alter:

Beschreibung:

< Zurück **Weiter** > Fertig stellen Abbrechen

1. In der Liste nach Person suchen. Bereits erfasste Informationen werden im jeweiligen Feld angezeigt

2. Falls Informationen über Vermissten nicht korrekt sind, können sie nachträglich modifiziert werden

Abbildung 10 Eingabeformular für einen Vermissten.

**Neuer Augenzeugenbericht**

**Augenzeuge**

Geben Sie die Kontaktinformationen des Augenzeugens ein.

Identität:  Modifikation

Nachname:

Vorname:

Geschlecht:  männlich  weiblich

Alter:

Adresse:

Telefonnr.:

< Zurück **Weiter** > Fertig stellen Abbrechen

Abbildung 11 Eingabeformular für einen Augenzeugen.

The screenshot shows a web form titled "Neuer Augenzeugenbericht" with the subtitle "Geben Sie Details des neuen Befunds ein!". The form contains the following fields and controls:

- Ebene \***: A dropdown menu showing "10G". A red arrow points to this field, and a red box contains the text "Automatisch erfasste Position und Ebene".
- Länge \***: A text input field containing "7.663854928223792" with "DD" to its right.
- Breite \***: A text input field containing "51.52472701715036" with "DD" to its right.
- Tiefe**: A text input field containing "0" with "m" to its right.
- Suchmethode \***: A dropdown menu showing "Human".
- Kommentare**: A text area with up and down arrow buttons.
- Autor**: A text input field.
- Gewißheit (Präsenz)**: A range slider from "gering" to "hoch" with a value of "0 %".
- örtliche Genauigkeit**: A range slider from "hoch" to "gering" with a value of "0 Meter".
- Taktische Zeit**: A dropdown menu showing "17:40:12".
- Taktisches Datum**: A dropdown menu showing "11.04.2011".

At the bottom of the form are four buttons: "< Zurück", "Weiter >", "Fertig stellen", and "Abbrechen".

Abbildung 12 Die Eingabe der Position eines Vermissten durch den Augenzeugen erfolgt durch Drop des entsprechenden taktischen Symbols auf der Karte.

### Ergebnisse von Ortungsmaßnahmen

Ungewisse Befunde von Ortungsmaßnahmen werden über Drag&Drop des jeweiligen Methodensymbols erfasst. Die erste Seite ermöglicht die Eingabe von Meta-Information über die Position (s. Abbildung 13). Automatisch erkannt werden die jeweilige Ebene sowie die Position an der das Zeichen losgelassen wurde. Die zweite Seite ermöglicht die Eingabe zur Genauigkeit des Befundes (s. Abbildung 14). Es ist darauf zu achten, dass es sich hier immer um die vermeintlich verschüttete Person handelt. Die Angabe über die Gewissheit der Handyortung ergibt keinen Sinn, vielmehr ist die Präsenz eines Verschütteten wichtig.

Abbildung 13 Hauptseite eines ungewissen Befundes.

Abbildung 14 Angabe zur örtlichen Genauigkeit des Ortungsbefundes und der Gewissheit über die Präsenz eines Verschütteten (Detektionswahrscheinlichkeit).

### Eingabe Fundort eines Verschütteten

Wenn Informationen zu einem gefundenen Opfer eingegeben wird, ist es wichtig auch festzuhalten, wer dieses Opfer gefunden und behandelt hat. Somit ist eine Befragung nach dem Einsatz möglich, da der Finder oder die Einsatzkraft als Ansprechpartner festgehalten wurde.

Abbildung 15 Nach dem Drop des taktischen Zeichens für einen Fundort erfolgt die Eingabe der Einsatzkraft, die die Person gefunden hat.

Abbildung 16 Informationen über das gefundene Opfer. Auswahl der Vermissten über die Drop-Liste. Nach Eingabe wird die Vermisstenliste automatisch aktualisiert.

### Erstellung eines Flächenbefundes

Vier Arten von Informationskategorien gibt es die über eine Fläche eingegeben werden können:

- Gefahrenzonen
- Schadenszonen mit dem jeweiligen Schadenselement
- Schadenskonten
- abgesuchte Bereiche

Es können Polygone, Rechtecke oder Ellipsen eingegeben werden. Nach Eingabe der Fläche öffnet sich die jeweilige Eingabemaske, sowie es in Abbildung 18 dargestellt ist.

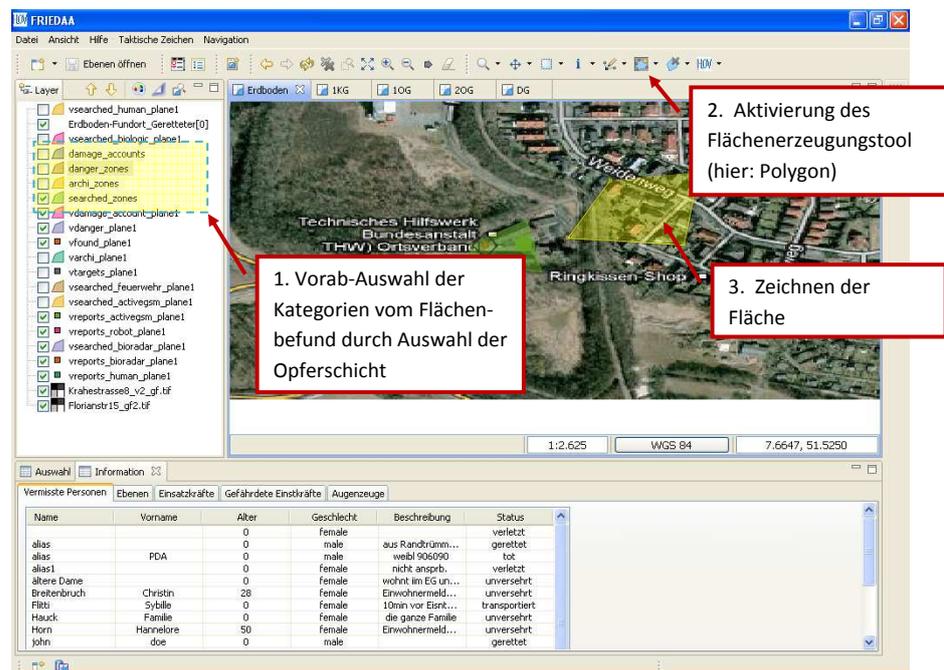


Abbildung 17 Zeichnen eines Polygons, eines Rechtecks oder einer Ellipse, nach Auswahl der Opferschicht öffnet die jeweilige Eingabemaske (s. Abbildung 18).



**Gefahrenzone**

**New Danger Zones**

Bitte geben Sie die Details der Gefahrenzone ein!

Ebene \*

Danger

Taktische Zeit

Taktisches Datum

Autor

Beschreibung

Abbildung 18 Eingabemaske zu den Gefahrenzonen.

## Auswertung von Informationen

### Targets – ein Handlungsvorschlag zur Bergung von Verschütteten

Bei den sog. „Targets“ handelt es sich um einen Handlungsvorschlag. Wenn es genügend Gewissheit gibt und somit ungewisse Befunde durch ein Target repräsentiert werden, sollten entweder weitere Überprüfungen mit technischer Ortung oder Bergungsmaßnahmen eingeleitet werden.

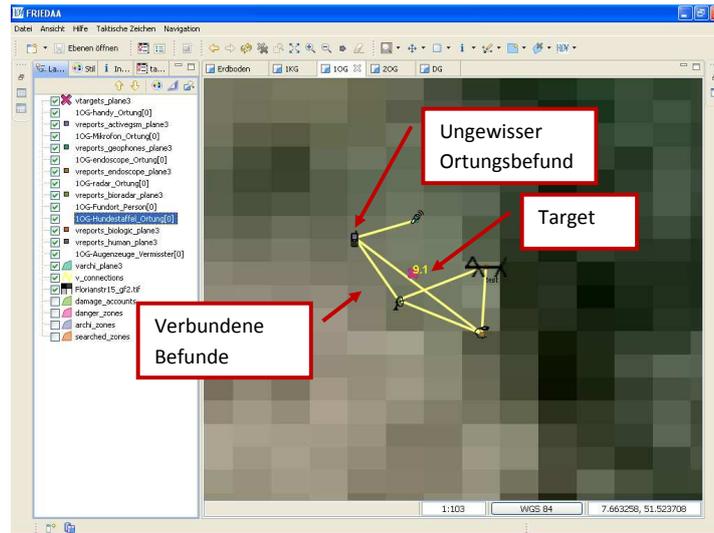


Abbildung 19 Assoziierte Befunde, die auf den gleichen Verschütteten hinweisen. Es gibt genügend Gewissheit (9,1=91 %), dass an der durch das Kreuz markierten Position ein Verschütteter sich befindet. Bergungsmaßnahmen sollten eingeleitet werden, obwohl keine Gewissheit besteht.

### Warnung - Gefährdete Einsatzkräfte

Bei jeder Eingabe über ein PDA wird die aktuelle Position der Einsatzkraft mit übertragen. Falls diese sich in einer Gefahrenzone befindet und somit gefährdet sein könnte, wird die gefährdete Einsatzkraft in der Tabelle angezeigt (s. Abbildung 20).

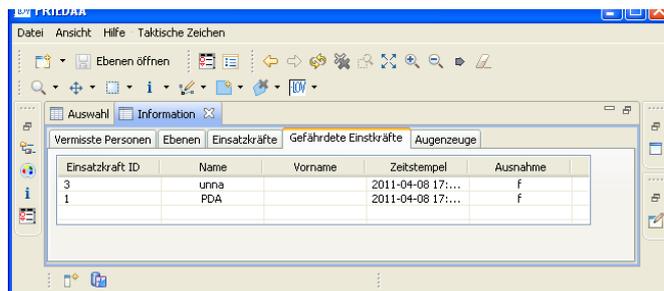


Abbildung 20 Die gefährdeten Einsatzkräfte.

# C Datenbankschemata des IT-Systems

Im Folgenden sind die Datenbankschemata des Demonstrator-IT-Systems für die Verwaltung von Suchergebnissen – kurzum des Suchprozesses – sowie für die Funktion Gefahrenwarnung dargestellt.

## C.1 Datenbankschema für die Funktion Gefahrenwarnung

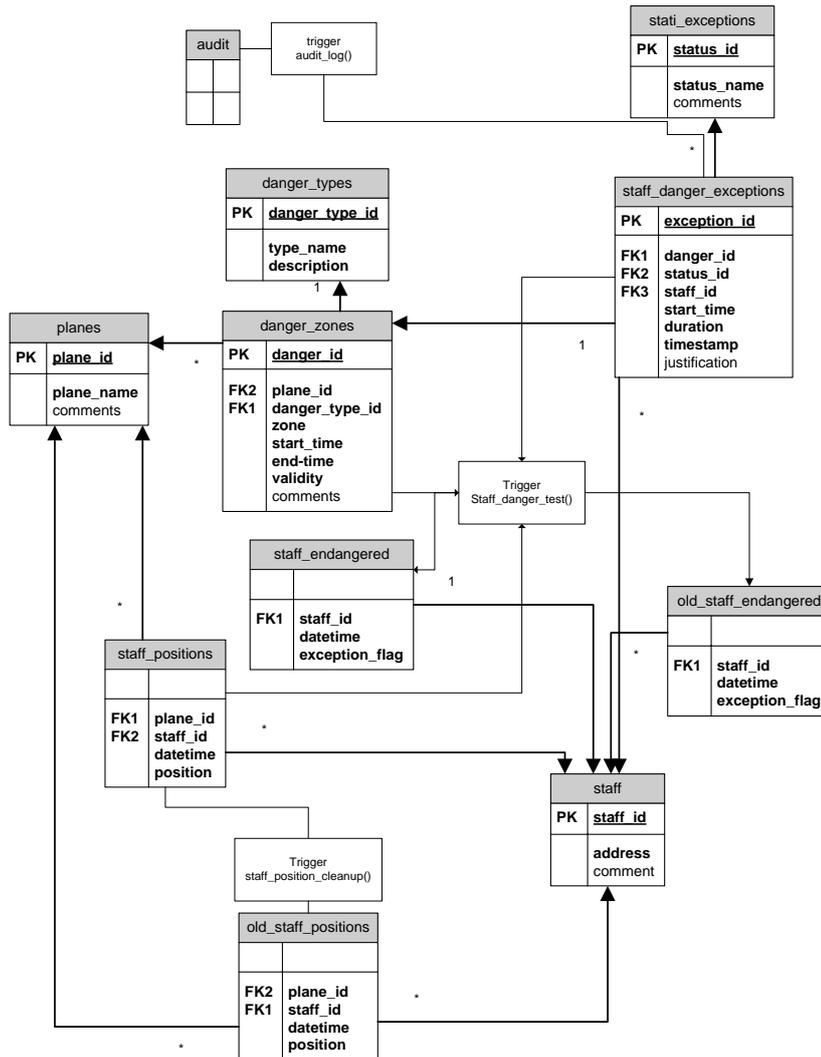


Abb. C.1: Datenbankschema für die Funktion Gefahrenwarnung.

## C.2 Zentrales Datenbankschema für den Suchprozess

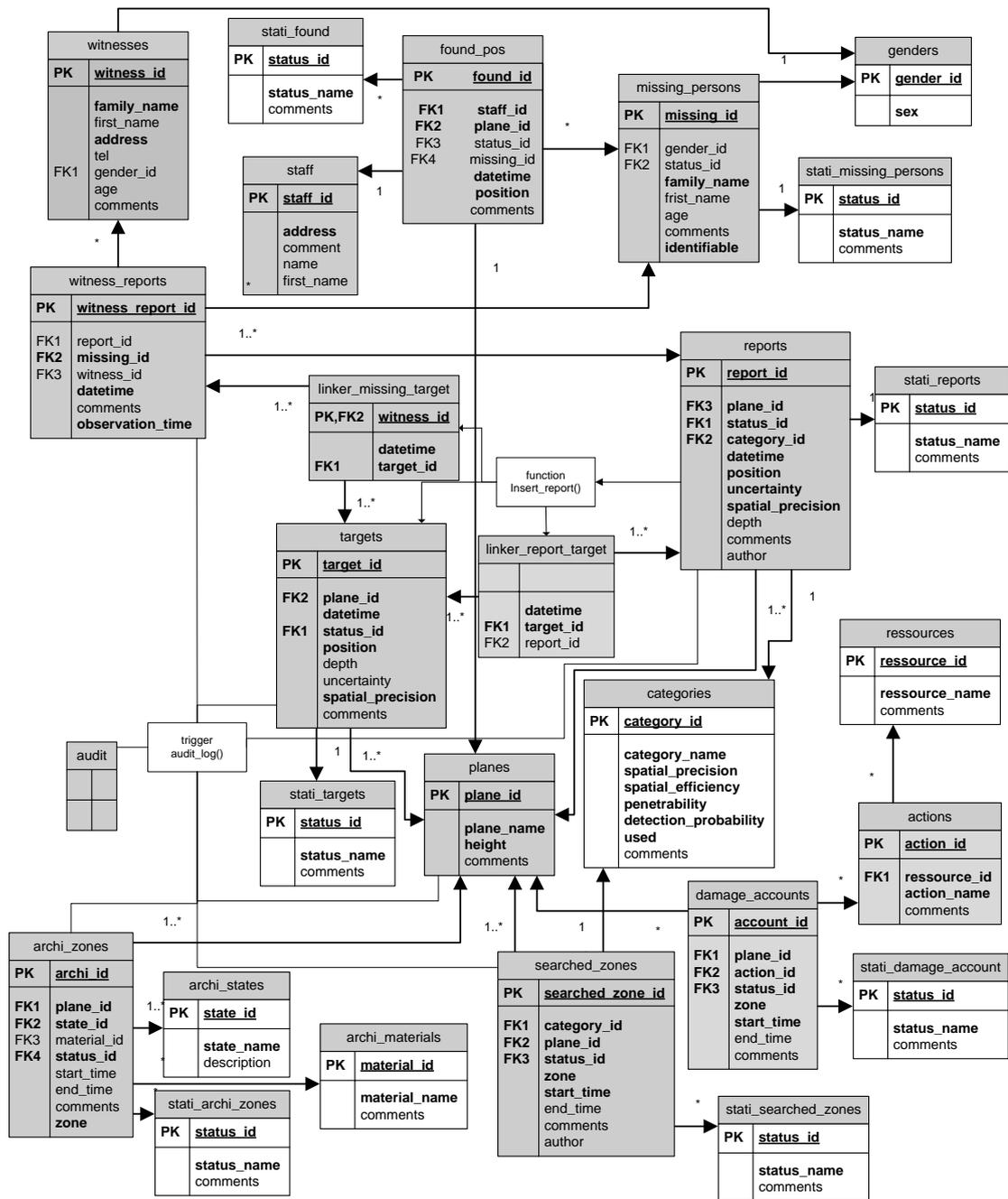


Abb. C.2: Datenbankschema für den Suchprozess. Die Tabellen mit gänzlich grauem Hintergrund stellen die Transaktionstabellen dar, die anderen die Parametertabellen.