

Prozessorientierte Schulung von Einsatzkräften für robotergestützte Rettungsmissionen der Feuerwehr

Alexander Berrang, Constantin Houy, Jana-Rebecca Rehse, Peter Fettke

Institut für Wirtschaftsinformatik (IWi)
im Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) und
Universität des Saarlandes, Campus, Geb. D3₂
66123 Saarbrücken

{Alexander.Berrang | Constantin.Houy | Jana-Rebecca.Rehse | Peter.Fettke}@dfki.de

Abstract. Der Einsatz von Rettungsrobotern kann die Arbeit von Einsatzkräften der Feuerwehr erheblich erleichtern. Allerdings müssen die Einsatzkräfte dafür entsprechend geschult werden. Im vorliegenden Beitrag wird ein Softwareprototyp vorgestellt, der vorhandene Daten zum Ablauf von Feuerwehreinsätzen für eine prozessorientierte Schulung der Einsatzkräfte nutzt. Ausgehend von konkreten Anwendungskontexten, in denen der Einsatz von Rettungsrobotern besondere Vorteile bringen kann, werden Referenzprozessmodelle für eine nutzenstiftende Zusammenarbeit zwischen Menschen und Robotern entwickelt. Diese dienen als Grundlage für den Schulungsprototyp, welcher eine schrittweise Rekapitulation des Einsatzablaufs sowie einen Vergleich des Einsatzes mit dem Referenzprozessmodell erlaubt. Dieser Vergleich, für den Process-Mining-Ansätze verwendet werden, legt Abweichungen des Einsatzes vom idealtypischen Ablauf offen, welche bei Schulungen besprochen und diskutiert werden können. Der Prototyp wird im Rahmen eines laufenden Forschungsprojekts in Kooperation mit Einsatzkräften entwickelt und wurde bereits positiv bewertet.

Keywords: Krisenmanagement, Rettungsrobotik, Einsatzschulung, Prozessmodellierung, Process Mining

1 Motivation und Zielsetzung

Tagtäglich sind Feuerwehrleute in Einsätzen tätig. Zu ihren Aufgaben gehören das Löschen, Retten, Bergen und Schützen, was insbesondere in Großeinsätzen zur Herausforderung werden kann [1]. Dabei begeben sich Rettungskräfte nicht selten in Lebensgefahr, um andere Leben zu retten oder Sachgüter und die Umwelt zu schützen [2]. Aufgrund der Fortschritte in der Entwicklung von Robotersystemen liegt es nahe, dass diese in naher Zukunft Einsatzkräfte der Feuerwehr unterstützen [3], um deren Risiko zu verringern und die Einsätze somit sicherer und effizienter zu gestalten. Bereits in der Vergangenheit wurden Roboter im Rahmen von Großeinsätzen wie dem Unglück von Fukushima [4] oder beim Brand der Kathedrale von Notre-Dame [5] unterstützend eingesetzt. So können beispielsweise Bodenroboter in schwer zugängliche Bereiche vordringen [6] oder Luftroboter Bilder zur besseren Einschätzung von

15th International Conference on Wirtschaftsinformatik,
March 08-11, 2020, Potsdam, Germany

Einsatzlagen liefern [7]. Aufgrund zahlreicher technischer wie praktischer Herausforderungen ist eine Zusammenarbeit von Mensch-Roboter-Teams in der Einsatzpraxis bisher allerdings noch wenig etabliert.

Vor diesem Hintergrund erforscht das aktuell laufende Projekt A-DRZ (*Aufbau des Deutschen Rettungsrobotik-Zentrums*) die Unterstützung von Feuerwehreinsätzen durch Robotersysteme. In diesem Zusammenhang wird auch das Thema Mensch-Roboter-Teamarbeit behandelt. Ziel ist dabei die Entwicklung eines Systems, welches Methoden der natürlichen Sprachverarbeitung, der Referenzmodellierung und des Process Mining verwendet, um aus der Funkkommunikation der Einsatzkräfte und den Sensordaten der Robotersysteme den Ablauf und aktuellen Status eines Einsatzes zu rekonstruieren [8]. Die so gewonnenen Daten werden genutzt, um den Einsatzkräften während und nach dem Einsatz verschiedene Assistenzfunktionen zur Verfügung zu stellen [9]. Informationen zu abgeschlossenen Einsätzen können beispielsweise verwendet werden, um Feuerwehrkräfte für die Mensch-Roboter-Teamarbeit auszubilden. Dies ist notwendig, da die Einbindung von Rettungsrobotern in die stark standardisierten und eingeübten Abläufe der Feuerwehr hohe Ansprüche an die Einsatzkräfte stellt [10].

Die Ausbildung von Feuerwehrkräften besteht aus theoretischen Grundlagen sowie praktischen Übungen, deren Durchführung von Ausbildern beobachtet und dokumentiert wird [11]. Diese manuelle Dokumentation hat den Nachteil, dass aufgrund der hohen kognitiven Belastung [12] in komplexen Einsatzsituationen mit vielen menschlichen oder robotischen Akteuren sowie zahlreichen parallel verlaufenden Aktivitäten bestimmte Umstände übersehen oder vergessen werden können. Um diesem Nachteil zu begegnen beschäftigt sich der vorliegende Beitrag mit der Forschungsfrage: *Wie können Einsatzschulungen für die Mensch-Roboter-Teamarbeit softwaretechnisch unterstützt werden?*

Durch die Sammlung von Daten und eine automatisierte Dokumentation der Übungseinsätze können Ausbilder entlastet und eine bessere Datengrundlage für die Einsatzkräfteschulung geschaffen werden. Die Aufbereitung der Abläufe als Prozessmodelle ermöglicht darüber hinaus eine umfassende und schrittweise Nachbesprechung der Übungen sowie einen Abgleich mit bestehenden Handbüchern oder Dienstvorschriften. So erlernen die auszubildenden Feuerwehrkräfte, wie der praktische Einsatz der Roboter vor dem Hintergrund bestehender Einsatzvorschriften vonstattengeht.

Im vorliegenden Beitrag wird der Softwareprototyp zur Einsatzschulung für Feuerwehrleute im Rahmen des Gesamtsystems zur Unterstützung der Mensch-Roboter-Teamarbeit präsentiert. Ausgehend von konkreten Anwendungskontexten (*Großbrand, Einsturz und Verschüttung, ABC-Unfall* und *Hochwasser*) wurden zunächst Referenzprozessmodelle erstellt, um idealtypische Vorgehensweisen zu beschreiben. In diesen Referenzmodellen wird neben den grundlegenden Vorgehensweisen, die in den Feuerwehrdienstvorschriften (FwDV) festgelegt sind, zusätzlich der Einsatz von Robotern berücksichtigt. Sie dienen als Grundlage der Funktionsweise des Softwareprototyps für die prozessorientierte Schulung von Einsatzkräften.

Der vorliegende Beitrag weist folgende Struktur auf: in Abschnitt zwei werden konzeptionelle Grundlagen eingeführt, bevor in Abschnitt drei die verwendete For-

schungsmethode beschrieben wird. In Abschnitt vier werden die zugrunde gelegten Anwendungskontexte übersichtsartig eingeführt, bevor Abschnitt fünf ein Referenzprozessmodell im Kontext *Einsturz und Verschüttung* im Detail präsentiert und damit den entwickelten Softwareprototyp zur prozessorientierten Einsatzkräfteschulung illustriert. Abschnitt sechs diskutiert die Ergebnisse und schließt den Beitrag mit einem Fazit ab.

2 Konzeptionelle Grundlagen

2.1 Rettungsrobotik

Rettungsrobotik beschäftigt sich mit Robotern, die Einsatzkräfte im Rahmen von Rettungseinsätzen unterstützen. Indem beispielsweise Drohnen Luftbilder erstellen oder Bodenroboter in schwer zugängliche Bereiche vordringen, werden Wahrnehmung und Handlungsspielräume der Rettungskräfte erweitert [7]. Dabei können in verschiedenen Einsatzsituationen verschiedene Arten von Robotern zum Einsatz kommen. Dazu gehören z. B. kompakte unbemannte Bodenroboter, die durch kleine Öffnungen in einsturzgefährdete Gebäude gelangen können, große unbemannte Bodenroboter, welche Transportaufgaben übernehmen können, oder auch Drohnen, die Luftaufnahmen ermöglichen. Im Wasser sind unbemannte Unterwasserroboter und Oberflächenroboter einsetzbar. Diese bewegen sich unter bzw. auf der Wasseroberfläche und können u. a. entsprechende Bilder bereitstellen [7].

Rettungsrobotik ist ein relativ junges Forschungsgebiet im Kontext der Künstlichen Intelligenz. Der Einsturz des World Trade Centers im Jahre 2001 war einer der ersten bekannten Einsätze von Rettungsrobotern für das Suchen und Retten in Städten (Urban Search and Rescue) [13]. Dabei konnte der Einsatz der Roboter die Aufgaben der Rettungskräfte erleichtern. Beispielsweise wurden Roboter dazu genutzt, Opfer und leicht begehbare Pfade durch Trümmergebiete zu suchen, Strukturen zu inspizieren und gefährliche Materialien zu lokalisieren. Darüber hinaus eröffnen Roboter neue Zugänge zu zuvor nicht oder kaum löslichen Aufgaben. So wurden nach dem Einsturz des World Trade Centers Roboter dazu genutzt, in brennende oder risikoreiche Bereiche vorzudringen, Trümmerberge zu durchsuchen oder durch Öffnungen zu gelangen, die für Rettungskräfte oder sogar Suchhunde zu klein waren [13].

Insbesondere bei schweren Katastrophen erregte der Einsatz von Rettungsrobotern die Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit. So unterstützten Roboter beispielsweise die Einsätze während der Katastrophe in Fukushima [4], die Brandbekämpfung der Kathedrale von Notre-Dame [5] sowie die Bergungsarbeiten nach dem Erdbeben von Amatrice [14].

2.2 Prozessorientierung in der Rettungsdomäne

Die Nutzung eines durch Informationstechnik gestützten Prozessmanagements stellt für die Rettungsdomäne und insbesondere für die Arbeit der Feuerwehr eine Möglichkeit dar, um Arbeitsabläufe besser koordinieren und nachverfolgen zu können

[15]. Rettungseinsätze sind ein spezielles Anwendungsgebiet für das Prozessmanagement, da sie in einem hochkomplexen, dynamischen Umfeld stattfinden, in dem stets neue, unvorhersehbare Situationen eintreten können [16]. Die Prozesse der Rettungsdomäne unterliegen zwar strikten Verhaltens- und Kommunikationsvorschriften, müssen aber immer an die Umstände in einer konkreten Einsatzsituation angepasst werden. Von daher wird die Eignung von Methoden des Prozessmanagements für die Rettungsdomäne bisweilen kritisch diskutiert. Beispielsweise wird in [17] festgestellt, dass herkömmliche Prozessmodellierungswerkzeuge aufgrund ihrer mangelnden Flexibilität und des Anspruchs auf Vollständigkeit für die Einsatzplanung ungeeignet sind. Allerdings fokussieren die Autoren sich auf die A-Priori-Modellierung zuvor unbekannter Einsatzsituationen und beziehen sich nicht auf die Nutzung von Ist-Prozessdaten zum Einsatzablauf. Diese bieten ein erhebliches Potenzial für die Schulung von Feuerwehrkräften, da sie den Ablauf eines Einsatzes unter Realbedingungen in strukturierter und gut verständlicher Form dokumentieren. Darüber hinaus kann die praktische Umsetzung und Einhaltung bestehender Regeln und Vorschriften zu Verhalten und Kommunikation nachvollzogen werden, indem Ist-Modelle, die mithilfe von Process-Mining-Techniken [18] aus den Ablaufdaten rekonstruiert werden, mit vordefinierten Referenzprozessmodellen verglichen werden.

Die Prozesse innerhalb der Rettungsdomäne unterliegen, wie bereits erwähnt, strengen Verhaltens- und Kommunikationsregeln. Grundlage dafür ist die gesetzliche Regelung zur Gefahrenabwehr des jeweiligen Bundeslandes [19]. Diese werden in bundesweit gültigen Feuerwehrdienstvorschriften (FwDV), in denen anhand vorgegebener Einsatzarten zentrale Abläufe unter Benennung von Aufgaben, Organisationseinheiten, verwendeten Ressourcen und Sicherheitshinweisen beschrieben werden, ergänzt und konkretisiert. Angehende Feuerwehrleute erlernen diese Regeln, ihre Bedeutung und praktische Umsetzung in theoretischen wie praktischen Einsatzschulungen. Dazu gehören Übungen, in denen Einsätze simuliert werden. Diese werden von den Ausbildern beobachtet und dokumentiert und im Nachgang mit den in Ausbildung befindlichen Einsatzkräften besprochen.

Wenn Rettungsroboter in Zukunft in größerem Ausmaß zur Unterstützung der Feuerwehrkräfte eingesetzt werden sollten, sind bestehende Schulungskonzepte zu ergänzen, um die Rettungskräfte auf eine effektive und effiziente Zusammenarbeit vorzubereiten. Die Abläufe während der Übungen, in denen dann zusätzlich Rettungsroboter genutzt werden, werden komplexer, sodass es auch zunehmend schwierig wird, diese allein aufgrund einer manuellen Dokumentation in allen Facetten nachzuvollziehen.

Die Autoren des vorliegenden Beitrags haben im Kontext Projektes A-DRZ an einem technischen Konzept mitgearbeitet, um Prozessabläufe aus der Funkkommunikation der Feuerwehr abzuleiten und diese durch Methoden der Prozessdatenanalyse (Process Mining) aufzubereiten [8]. Dabei stand zunächst die Unterstützung während eines Einsatzes im Vordergrund (Stichwort: Prozessassistenz [9]). Allerdings können die aufgezeichneten Daten über den Einsatzablauf auch nach dem Einsatz von erheblichem Nutzen sein. Der vorliegende Beitrag fokussiert sich deshalb auf die Vorstellung eines Softwareprototyps zur prozessorientierten Einsatzschulung.

3 Forschungsmethode

Die im vorliegenden Beitrag präsentierten Ergebnisse – insbesondere der Softwareprototyp zur prozessorientierten Einsatzkräfteschulung – wurden mithilfe eines gestaltungsorientierten Forschungsansatzes entwickelt [20]. Im Folgenden werden nun Details dieser Entwicklungsarbeiten erläutert und begründet. Auf Basis eines allgemeinen Referenzprozessmodells für Rettungseinsätze der Feuerwehr, das auf der Grundlage der FwDV entwickelt wurde [9], wurden Prozessabläufe zu relevanten Anwendungskontexten (*Großbrand, Einsturz und Verschüttung, ABC-Unfall* sowie *Hochwasser*) weiter konkretisiert und darüber hinaus um Einsatzmöglichkeiten verschiedener Rettungsrobotertypen erweitert [13, 21]. Die so entwickelten Referenzprozessmodelle wurden mithilfe von Ereignisgesteuerten Prozessketten (EPK) modelliert. Diese Darstellung wurde gewählt, da EPKs nur wenige verschiedene Syntaxelemente umfassen und gleichzeitig flexible Möglichkeiten zur Modellgestaltung bieten. Sie sind im Allgemeinen auch für Nicht-Modellierungsexperten leicht zu erlernen und zu verstehen [9]. Zusätzlich wurden weitere Feuerwehrausbildungsmaterialien und Literaturquellen genutzt, um die modellierten Referenzprozesse um weitere Details zu ergänzen.

Im Rahmen der Entwicklung des Softwareprototyps für die prozessorientierte Einsatzkräfteschulung wurden zunächst konkrete Bedarfe und Anforderungen in Gesprächen und bei Workshops mit am Projekt beteiligten Feuerwehrdomänenexperten ermittelt. Im vorliegenden Beitrag werden nun die Ergebnisse der ersten Entwicklungsiteration des Softwareprototyps – insbesondere die Kernfunktionalitäten sowie die grafische Benutzungsschnittstelle (GUI) – präsentiert. Der Ablauf eines abgeschlossenen Einsatzes kann mithilfe des Prototyps sukzessive dargestellt und mit den vorhandenen Referenzmodellen für das jeweilige Anwendungsszenario verglichen werden. Der Softwareprototyp wurde beteiligten Einsatzkräften präsentiert und von diesen im Rahmen erster qualitativer Beurteilungen positiv eingeschätzt.

4 Mögliche Anwendungen von Robotern in Feuerwehreinsätzen

Im Folgenden werden kurz vier verschiedene Anwendungskontexte für Roboter in Feuerwehreinsätzen vorgestellt, die als Grundlage für die Referenzmodellentwicklung dienen. Die Referenzprozessmodelle wurden aus den FwDV abgeleitet [9], kontextspezifisch weiter präzisiert und um den Einsatz von Robotern ergänzt. Im Anwendungskontext *Großbrand* [19, 22-24] spielen Brände großen Ausmaßes eine zentrale Rolle. Ein bekanntes Beispiel ist der Brand der Kathedrale von Notre-Dame, bei dem die Ausbreitung des Feuers durch Drohnenbilder überwacht wurde [5]. Im Gegensatz zu Kleinbränden ist die Erkundung der Lage aufgrund des i.d.R. großflächigen Gefahrengebietes erschwert und nicht ohne zusätzliche Risiken für die Einsatzkräfte zu bewältigen. Im Kontext eines Industriegroßbrandes stellen auch gelagerte Materialien eine erhebliche Gefahr dar, da diese z. B. giftige oder leicht brennbare Substanzen enthalten können. In solchen Situationen verringert der Einsatz von Robotern das Gefahrenpotenzial für Einsatzkräfte, indem diese das Gefahrengebiet im Groß-

brandszenario nicht selbst betreten müssen. Die Nutzung von Drohnen und Bodenrobotern birgt zudem das Potenzial, genaue Lagebilder zu kreieren und sog. Points of Interest (POI), wie z. B. identifizierte Personen, Tiere oder Sachgüter zu lokalisieren. Bodenroboter können z. B. Proben von unbekanntem Substanzen entnehmen und zur Analyse bereitstellen, sodass keine Rettungskraft mit potenziell gesundheitsgefährdenden Substanzen in Berührung kommt. Roboter können auch zur frühzeitigen Bekämpfung von Entstehungsbränden zum Einsatz kommen, indem sie bestimmte Bereiche eines Geländes überwachen und neu entstandene Brände sowie deren genaue Position frühzeitig melden. Dadurch lassen sich Entstehungsbrände schneller eindämmen, womit der entstehende Schaden verringert und die darauffolgende Arbeit der Feuerwehr erleichtert werden kann.

Im Anwendungskontext *Einsturz und Verschüttung* [22, 23, 25] wurde ein Rettungsprozess nach einem Gebäudeeinsturz beschrieben, bei dem Personen unter Trümmern begraben sein können, wie bspw. nach großen Erdbebenereignissen [14]. Ein solcher Einsatz umfasst u. a. die Rettung verschütteter Opfer sowie die ordnungsgemäße Räumung der Trümmer. Der Einsatz der Roboter kann die Lokalisierung von Verschütteten z. B. durch Wärmebilder oder durch andere Formen der Vitalzeichen-erkennung unterstützen, wodurch sich die Zeit, in der die Rettungskräfte den Gefahrenbereich betreten müssen, verkürzt lässt. Außerdem können Helfer durch die Ortung von Opfern und Hohlräumen mithilfe geeigneter Sensorvorrichtungen an Rettungsrobotern gezielt Bereiche absichern und durchsuchen. Auch bei der Absicherung der Gefahrenzone können Roboter von Bedeutung sein, da sie dank entsprechender Sensoren selbst geringe Lageänderungen von Trümmerteilen erkennen können. Dies eröffnet Möglichkeiten einer frühzeitigen Gefahrenerkennung und Evakuierung von Helfern aus akut gefährdeten Bereichen, in denen weitere Einstürze drohen. Darüber hinaus können Roboter auch das Abtragen von Trümmern unterstützen oder Transportaufgaben übernehmen. Das entwickelte Referenzprozessmodell für diesen Anwendungskontext wird im nächsten Abschnitt noch detaillierter präsentiert und dient der exemplarischen Illustration des Software-Prototyps.

Im Anwendungskontext *ABC-Unfall* [26] (atomare, biologische und chemische Gefahren) sind oft Spezialeinheiten zur Eindämmung von Gefahrenstoffen erforderlich. Besonders wichtig ist es, die Kontaminierung von Menschen, Tieren sowie der Umwelt zu verhindern. Ein Beispiel für einen solchen Einsatz ist das Unglück von Fukushima [4]. ABC-Einsätze stellen die Rettungskräfte gerade bei Außeneinsätzen vor besondere Herausforderungen, weil z. B. Gefahrenstoffe im Erdreich versickern können. Die Sicherheit der menschlichen Einsatzkräfte kann erheblich verbessert werden, wenn ein Roboter die Gefahrenstoffprobe nimmt und zur Analyse bereitstellt. Menschliche Einsatzkräfte kommen so ggf. nicht direkt in Kontakt mit potenziell gesundheitsschädlichen Stoffen. Unter Verwendung geeigneter Bodenroboter kann außerdem eine sofortige Rettung bzw. der Transport von Opfern aus dem Unfallgebiet erfolgen. Das Auffinden und Identifizieren von giftigen Substanzen zieht einen aufwändigen Spezialeinsatz nach sich. Für solche Einsätze sind Spezialeinheiten mit gesonderter Ausrüstung erforderlich. Wenn Spezialkräfte aktiv werden, können Roboter z. B. hilfreich sein, indem sie die Einsatzkräfte in das Gefahrengebiet begleiten

und sowohl Werkzeuge hinein- als auch Opfer aus dem Gebiet heraustransportieren können.

Der Eintritt von *Hochwasserlagen* [27, 28] kommt aufgrund zuverlässiger Wetterdienste meistens nicht überraschend, weshalb die Helfer vorbeugende und abwehrende Maßnahmen gegen das Hochwasser einleiten und durchführen können. Im Rahmen vorbeugender Maßnahmen werden Anwohner informiert und Gebäude gesichert, insbesondere, wenn deren Besitzer dazu selbst nicht in der Lage sind. Des Weiteren sind die Errichtung von Absperrungen sowie die Sicherung möglicherweise angrenzender Deiche von enormer Bedeutung. Der Robotereinsatz ist insbesondere in der Deichsicherung von Nutzen, z. B. um Sandsäcke zu transportieren. Abwehrende Maßnahmen treten ein, sobald der Wasserstand eine kritische Marke überschritten hat. In diesem Fall können z. B. Flugroboter dazu dienen, die Lage zu erkunden und Gebiete zu durchsuchen. Dadurch erhalten die Einsatzkräfte ein genaueres Lagebild und können z. B. gezielt Stege bauen, potenzielle Opfer retten und Einsatzwagen optimal positionieren.

Im Folgenden wird nun das entwickelte Referenzprozessmodell für den Anwendungskontext *Einsturz und Verschüttung* zur Illustration des Softwareprototyps für die prozessorientierten Einsatzschulung präsentiert.

5 Softwaregestützte Einsatzschulung für Rettungskräfte

5.1 Referenzprozessmodell zu *Einsturz und Verschüttung*

Bei komplexen Einsätzen in einem dynamischen Umfeld ist es für leitende Einsatzkräfte häufig herausfordernd, die Übersicht zu behalten und richtige Entscheidungen zu treffen. Aus diesem Grund sind sowohl die gründliche Vorbereitung der Einsatzkräfte in Schulungen als auch die nachträgliche Besprechung von Einsätzen wichtig. Werden z. B. bedeutende Tätigkeiten im Rahmen eines Übungseinsatzes vergessen, so wird dies anhand des Schulungsprototyps sichtbar und kann besprochen bzw. diskutiert werden, um mögliche Fehler in zukünftigen Einsätzen zu vermeiden. Dies wird durch die Beschreibung aller notwendigen Tätigkeiten im Referenzprozessmodell ermöglicht.

Das Referenzprozessmodell, das ein mögliches Einsturz- und Verschüttungsszenario abbildet, besteht aus einem Hauptmodell und fünf hinterlegten Teilmodellen. Die hierarchische Dekomposition ist der besseren Übersichtlichkeit geschuldet. Die Teilmodelle bilden die typischen Phasen eines Einsturz-Szenarios ab. Nach Eintreffen der Einsatzkräfte beginnt die Phase der Erkundungen und der Erstmaßnahmen (Teilmodell „Erkundung“). In der nächsten Phase begeben sich die Helfer in das Gefahrengebiet und nehmen einfache Rettungen, z. B. die Bergung leicht verschütteter Personen, vor (Teilmodell „einfache Rettung“). Nachdem alle leicht Verschütteten evakuiert wurden, startet die nächste Phase, welche die Ortung und die technische Rettung schwerer Verschütteter vorsieht (Teilmodell „technische Rettung“). Die nachfolgende Phase beschreibt das gezielte Vordringen zu vermuteten Personen mittels Ortung und Durchsuchung von Hohlräumen, in denen keine Lebenszeichen gefunden wurden

(Teilmodell „gezieltes Vordringen“). Sobald keine Opfer mehr geortet und alle Hohlräume durchsucht wurden, beginnt die letzte Phase, in der die Räumung des Trümmergebiets stattfindet (Teilmodell „Räumung“). Exemplarisch wird im Folgenden das Teilmodell „gezieltes Vordringen“ beschrieben.

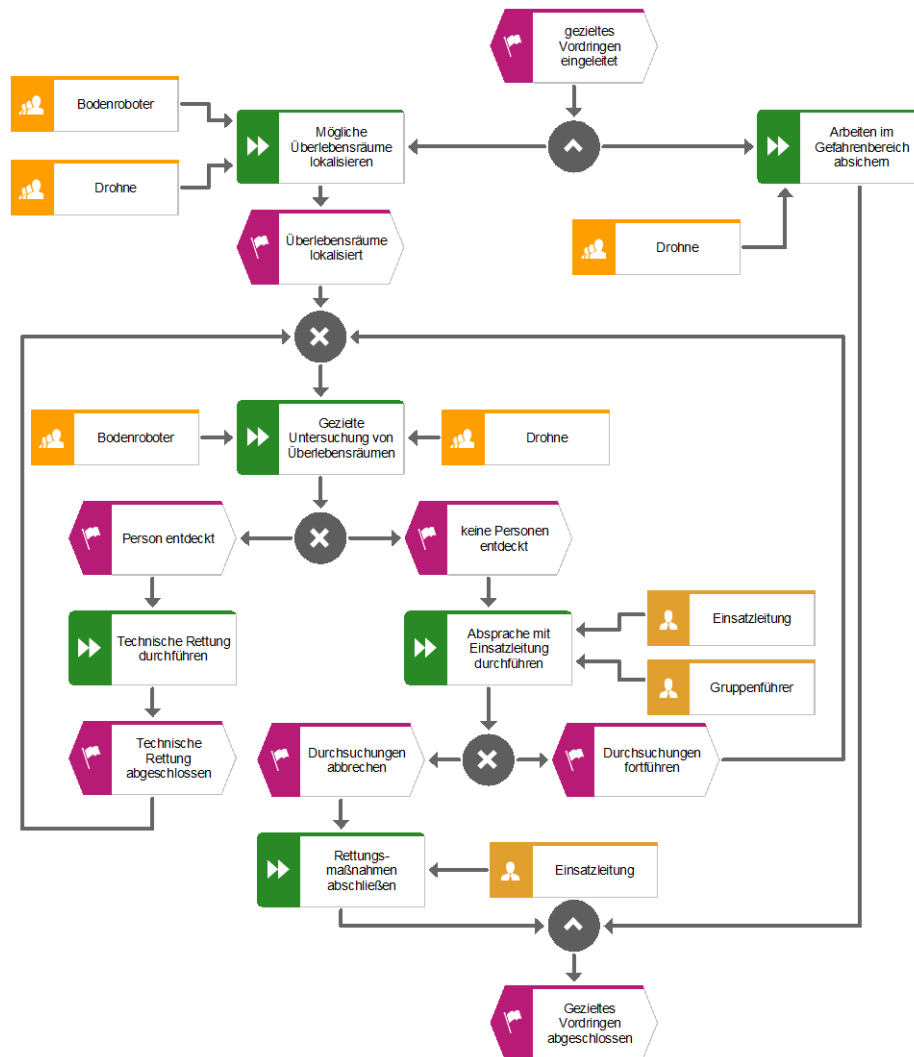


Abbildung 1: Referenzprozessmodell „gezieltes Vordringen“

Das Prozessmodell in Abbildung 1 beschreibt den Ablauf des gezielten Vordringens zu vermuteten Personen. Es besteht aus den drei Elementtypen *Ereignis* (in Magenta, beschreibt Zustände), *Funktion* (in Grün, beschreibt Handlungen), *Organisationseinheit* (in Gelb, beschreibt Akteure) sowie Kanten und Konnektoren, die den Kontrollfluss, also die Reihenfolge bzw. logische Verknüpfung im Modell beschrei-

ben. Bevor die Einsatzkräfte die einsturzgefährdeten Bereiche betreten dürfen, müssen diese zuerst abgesichert werden. Während des Arbeitens im Trümmerbereich besteht die ständige Gefahr, dass Trümmerteile durch die Bewegung anderer Trümmer einstürzen und sowohl Retter als auch Verschüttete verletzen. Roboter können mit geeigneten Sensoren bereits kleinste Änderungen der Trümmerlage erkennen und die Arbeit der Rettungskräfte durch eine bessere Einschätzung der Gefahrenlage unterstützen.

Gleichzeitig werden mithilfe entsprechender Sensoren zunächst mögliche Überlebensräume (Hohlräume ohne bisherige Ortung) lokalisiert und diese im Anschluss gezielt untersucht. Sollte in einem dieser Hohlräume eine Ortung erfolgen, so wird unmittelbar die technische Rettung ausgeführt, bei der Verschüttete unter höchster Vorsicht aus ihrer Zwangslage befreit werden. Andernfalls untersuchen die Einsatzkräfte solange potenzielle Überlebensräume, bis die Einsatzleitung davon ausgeht, keine Überlebenden mehr zu finden, und den Befehl zum Abbruch des gezielten Vordringens gibt sowie die Räumung der Trümmer und die Bergungsmaßnahmen anordnet.

5.2 Prototyp zur prozessorientierten Einsatzkräfteschulung

Die entwickelten Referenzprozessmodelle dienen als Grundlage für den folgenden Softwareprototyp zur prozessorientierten Einsatzkräfteschulung. Dieser erlaubt zunächst, einen Einsatz schrittweise zu rekapitulieren und nachzuvollziehen. Darüber hinaus kann der Einsatz mit den in den Referenzmodellen enthaltenen Vorschriften verglichen werden.

Um Einsätze nachträglich nachvollziehen zu können, müssen während eines Einsatzes oder einer Einsatzübung alle Aktivitäten dokumentiert werden. Zu diesem Zweck werden hier Ereignislogs verwendet, deren Einträge aus der ausgeführten Aktivität, dem Zustand der Ausführung (*begonnen* oder *beendet*), der ausführenden Organisationseinheit und einem Zeitstempel bestehen. Konkret liegen die Ereignislogs im standardisierten, XML-basierten Format XES (extensible event stream) vor, welches für die Anwendung in Process-Mining-Techniken entwickelt wurde [29]. XES sieht anwendungsspezifische Erweiterungen der Attribute vor, wodurch einzelne Logs z. B. einer bestimmten Einsatzart zugeordnet werden können.

Der Schulungsprototyp ermöglicht es den Nutzern, einen in einem Ereignislog dokumentierten Einsatz interaktiv „durchzuspielen“ und gleichzeitig mit einem gegebenen Referenzmodell zu vergleichen. In der GUI (siehe Abbildung 2) wird links das Ist-Modell des Einsatzes und rechts das Referenzmodell dargestellt. Zunächst kann über ein Drop-Down-Menü ein Ereignislog ausgewählt werden, das in der Schulung verwendet werden soll. Dann erscheint rechts das zugehörige Referenzmodell mit ausgegrauten Prozessschritten in Gänze. Nun kann der Nutzer interaktiv den Einsatz rekapitulieren, indem aus dem Ereignislog schrittweise ein Prozessmodell aufgebaut wird. Dazu dienen die Multimediaknöpfe im oberen linken Bereich der GUI. Durch Anklicken des „Vorwärts“-Knopfes wird der nächste Eintrag des Logs im untenstehenden Prozessmodell visualisiert; der „Rückwärts“-Knopf nimmt die Änderung zurück. So wird zwischen einzelnen Schritten aus dem Ereignislog manuell vor- und

zurückgesprungen. „Play“ und „Pause“ ermöglichen das Aktivieren und Pausieren eines automatischen Log-Durchlaufs in Echtzeit, d. h. gemäß den Zeitstempeln im Log. Soll der gesamte Durchlauf, egal ob manuell oder automatisch, nochmal von vorne begonnen werden, so ist dies durch den Stopp-Knopf möglich, der alle Parameter wieder zurücksetzt. Dabei erfolgt die Visualisierung des Einsatzes nicht streng sequenziell. Jedes Mal, wenn im Ereignislog ein weiterer Schritt hinzukommt, wird überprüft, ob Prozessschritte parallel ablaufen. Ist dies der Fall, werden sie durch ein logisches Und (AND-Konnektor) miteinander verbunden. Auch die Organisations-sicht wird visualisiert. Sobald im Ist-Modell eine neue Aktivität hinzukommt, wird diese farblich hervorgehoben. Die Farben geben Aufschluss über die Organisations-einheit, welche den Prozessschritt ausführt, und sind im unteren Abschnitt in Form einer Legende aufgelistet.

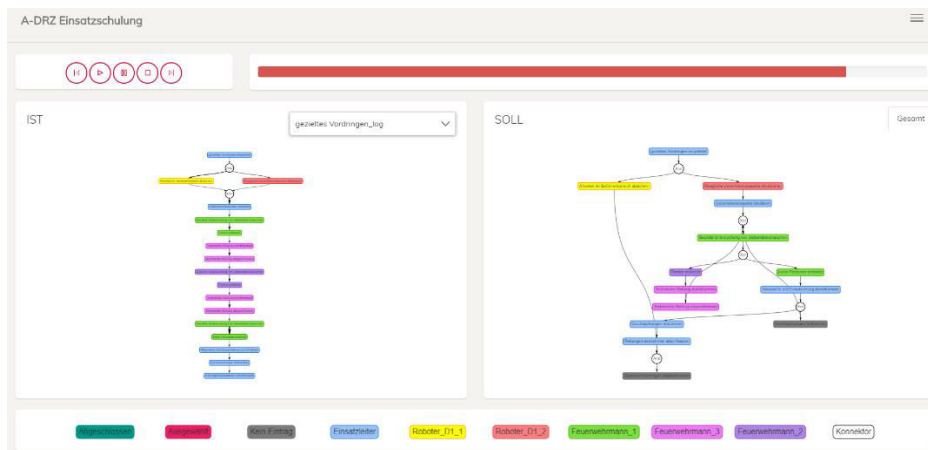


Abbildung 2: GUI des Prototyps (Schematische Darstellung, Lesbarkeit nicht erforderlich)

Parallel wird das Ist-Modell mit dem rechts dargestellten Referenzprozessmodell verglichen. Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen Ist-Modell und Referenzmodell werden in Abbildung 2 farblich hervorgehoben. Zu Beginn sind alle Aktivitäten des Referenzmodells ausgegraut. Bei jeder Veränderung des Ist-Modells wird dieses mithilfe eines Alignments [30, 31] mit dem Referenzmodell verglichen. Übereinstimmende Prozessschritte werden mit derselben Farbe versehen. Jene Schritte, die im Referenzmodell (rechts) existieren, jedoch noch nicht im Log vorkommen, sind grau markiert. Besonders bei einem exklusiven Oder (XOR-Konnektor) kann lediglich ein Prozesspfad ausgeführt werden, weshalb an dieser Stelle immer mindestens ein Pfad ausgegraut bleibt. Demnach bildet das Referenzprozessmodell alle möglichen Pfade ab, die hingegen nicht zwingend im Ereignislog zu finden sind. Deshalb weicht die Modellstruktur des Logs i.d.R. von der des Referenzmodells ab.

Abbildung 2 veranschaulicht ein Einsatzschulungsszenario anhand des gezielten Vordringens gemäß dem Referenzprozessmodell aus Abschnitt 5.1. Der rote Balken im oberen Bereich der Abbildung zeigt an, dass zum gezeigten Zeitpunkt etwa 85 % des Szenarios bereits durchlaufen wurden. Auf der linken Seite der Abbildung ist eine

Abfolge von Prozessschritten zu sehen, die das bisher abgelaufene Ereignislog wieder spiegeln.

Im exemplarisch beschriebenen Einsatzprozess wurden nach Absprache mit der Einsatzleitung die Durchsuchungen abgebrochen. Dies wird dadurch ersichtlich, dass der Prozessschritt „Durchsuchungen fortführen“ (im Referenzmodell unten rechts, siehe Detailansicht in Abbildung 3) ausgegraut bleibt und demnach nicht ausgeführt wurde.

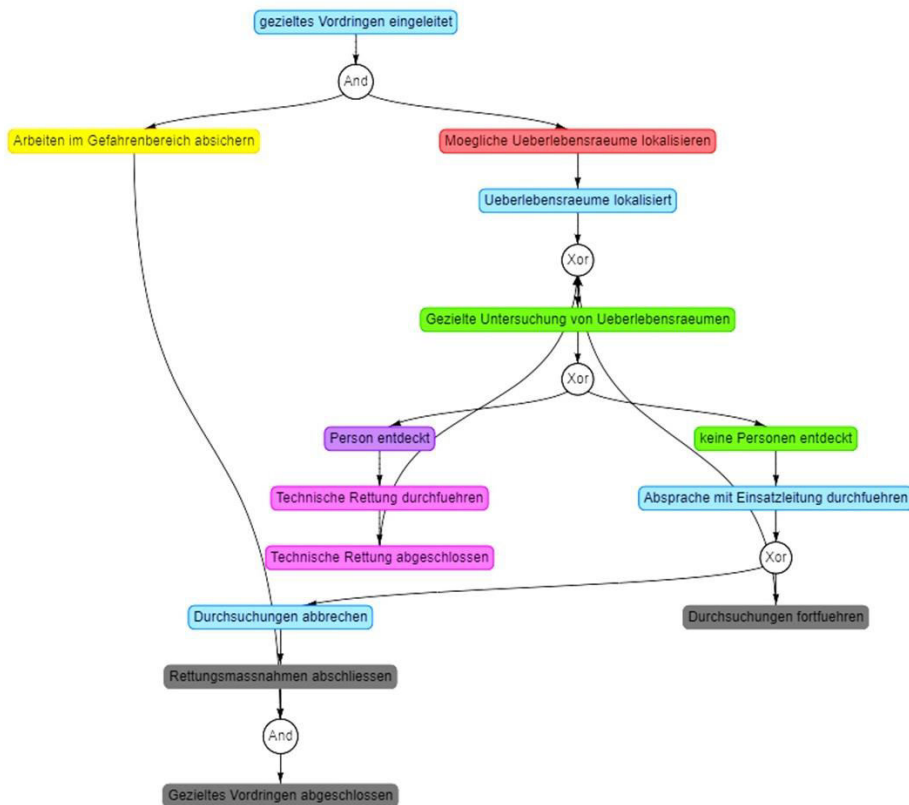


Abbildung 3: Detailansicht des Referenzmodells aus Abbildung 2

Bei einer potenziellen Schulung im Kontext des in Abbildung 2 dargestellten Beispiels würde der Einsatzleiter zu seiner Entscheidung zum Abbruch der Durchsuchungen Stellung nehmen und diese mit der Gruppe und dem Ausbilder besprechen. Falls es in diesem Szenario angebracht gewesen wäre, die Durchsuchungen fortzuführen, könnte der Ausbilder dahingehend Einwände vorbringen, sodass der Einsatzleiter zukünftig ggf. anders entscheidet.

Eine Besonderheit des Referenzmodells in Abbildung 1 liegt in seiner zyklischen Struktur. Gemäß dem Modell ist es möglich, dass es während der gezielten Untersuchung von Hohlräumen immer wieder zur Lokalisierung von Personen kommt. Im Log wird dies natürlich stets als sequenzielle Abfolge von Ereignissen dokumentiert.

So kann zwar aus dem Modell abgelesen werden, dass es sich bei der Untersuchung der Hohlräume um einen sich wiederholenden Teilprozess handelt (*Typeebene*). Aus dem Ereignislog wird hingegen ersichtlich, wie viele Opfer genau gerettet wurden und welche Organisationseinheiten die jeweilige Rettung durchführten (*Instanzebene*).

6 Diskussion und Fazit

Ziel des vorliegenden Beitrags war es, einen Softwareprototyp zur prozessorientierten Schulung von Feuerwehrkräften für den Einsatz von Rettungsrobotik vorzustellen. Dieser Prototyp ist Teil eines größeren Systems zur Mensch-Roboter-Teamarbeit, welches aktuell im Projekt A-DRZ entwickelt wird. Die Anforderungen und die Funktionalität des Softwareprototyps wurde in Abstimmung mit den am Projekt A-DRZ beteiligten Feuerwehrkräften erarbeitet, um ihre Nützlichkeit zu gewährleisten. Die gegebenen Vergleichsmöglichkeiten von Ist- und Soll-Prozessen stellen eine erste Evaluation der entwickelten Referenzprozessmodelle zu den verschiedenen Anwendungskontexten sowie des Softwareprototyps zur Einsatzschulung dar. Darüber hinaus wurden sowohl die Referenzmodelle als auch der Prototyp selbst von den beteiligten Feuerwehrkräften formativ evaluiert. Bisher wurden zwei qualitative Beurteilungen durch Fokusgruppen bestehend aus am Projekt beteiligten Wissenschaftlern und Anwendern durchgeführt. Der Prototyp wurde grundsätzlich als potenziell wertvolle und nützliche Unterstützung im Einsatz betrachtet. Darüber hinaus wurden verschiedene für notwendig erachtete Erweiterungen des Prototyps vorgeschlagen, die im weiteren Projektverlauf umgesetzt werden sollen. So sollen z. B. Organisationsstrukturen und Hierarchien der Einsatzbeteiligten berücksichtigt werden, um Verantwortungsverhältnisse visualisieren zu können. Ebenso sind Erweiterungen zur besseren Analyse der Prozesse sowie die Integration von Einsatzfotos und des Lagebildes zum Zeitpunkt ausgewählter Einsatzsituationen geplant. Darüber hinaus sollen Erweiterungen sowohl des Gesamtsystems als auch des hier vorgestellten Schulungsprototyps im weiteren Projektverlauf tiefergehend quantitativ und qualitativ evaluiert werden. Diese Evaluationen dienen nicht nur einer ordnungsgemäßen Funktionsweise sondern auch der inhaltlichen Ergänzung der Referenzprozessmodelle um relevantes Domänenwissen sowie der Erweiterung des Schulungsprototyps um zusätzliche Funktionalitäten zur Unterstützung von Nachbesprechungen und Einsatzschulungen.

Sowohl bezüglich der Referenzprozessmodelle als auch bezüglich des Softwareprototyps ergeben sich verschiedene Limitationen. Die Referenzmodelle wurden unter anderem aus bestehender Literatur entwickelt und basieren somit auf breit abgesichertem und weit verbreitetem Wissen über die Vorgehensweisen der Feuerwehr. Gleichermassen ist diese Literatur theoretisch verortet, sodass sie gegebenenfalls hilfreiches Wissen aus der Einsatzpraxis, welches nicht schriftlich festgehalten wurde, nicht berücksichtigt. Dies gilt auch für die in den Referenzmodellen ergänzten Einsatzpotentiale von Rettungsrobotern, die bisher noch nicht umfassend praktisch erprobt sind. Dies zu ändern, ist eines der vorrangigen Ziele des Projektes A-DRZ. Im Moment können diese Umstände allerdings dazu führen, dass die Referenzprozessmodelle

Erweiterungsbedarfe aufweisen. Eine stetige Überarbeitung und Anpassung an neue Erkenntnisse aus Forschung und Praxis ist daher wahrscheinlich notwendig. Um dies automatisiert umzusetzen, können beispielsweise Methoden des Reference Model Mining zum Einsatz kommen [32].

Der Softwareprototyp zur Einsatzschulung ermöglicht den Einsatzkräften einen neuen, strukturierten Blick auf ihre Handlungen und Entscheidungen während eines Einsatzes und birgt somit das Potenzial, Einsatzschulungen und -nachbesprechungen effektiver und nachhaltiger zu gestalten. Allerdings ist dieses Potenzial grundlegend von der vorhandenen Datenlage abhängig. Wenn wichtige Bestandteile eines Einsatzes, etwa eine Anweisung des Einsatzleiters, nicht in den Einsatzlogs enthalten ist, kann sie nicht im Nachhinein nachvollzogen werden. Dementsprechend ist es wichtig, die Aufzeichnung und Bearbeitung der Daten über den Einsatzablauf möglichst vollständig und lückenlos zu gestalten. Dadurch lässt sich allerdings nicht ausschließen, dass es Einflussfaktoren wie beispielsweise zwischenmenschliche Befindlichkeiten gibt, die sich nicht in solchen Logs aufzeichnen lassen. Allerdings sollten auch diese in Nachbesprechungen oder Schulungen thematisiert werden.

Sowohl die Ist-Modelle der Einsätze als auch die Referenzprozessmodelle für die einzelnen Szenarien können beliebig komplex werden. Dies stellt eine mögliche Beeinträchtigung des Modellverstehens für die Einsatzkräfte dar. Im aktuellen Schulungsprototyp soll die Übersichtlichkeit der Modelle durch eine hierarchische Dekomposition des Referenzprozessmodells in Haupt- und Teilmodelle sowie durch die farbliche Kennzeichnung der einzelnen Prozessschritte sichergestellt werden. Hier könnten auch weitere gängige Abstraktionsmethoden zum Einsatz kommen.

Im Allgemeinen wird durch den hier vorgestellten Softwareprototyp das Potenzial von Methoden des Prozessmanagements in der Rettungsdomäne verdeutlicht. Zwar stellt die Erarbeitung von geeigneten Referenzprozessmodellen aus vorhandener Literatur einen erheblichen Aufwand für menschliche Modellierer dar, da Texte in geeigneter Weise interpretiert, abstrahiert und strukturiert werden müssen. Allerdings erweist sich die Möglichkeit zum Vergleich dieser Referenzprozessmodelle mit realen Einsatzabläufen sowie zur Rekapitulation der Entscheidungen und Handlungen innerhalb der Einsätze als erheblicher Mehrwert gegenüber den bestehenden, papierbasierten Schulungsansätzen.

Danksagung: Die Autoren des vorliegenden Beitrags danken den drei anonymen Gutachtern für ihre hilfreichen Anmerkungen, die zur Verbesserung dieses Beitrags beigetragen haben. Die vorgestellten Ergebnisse wurden im Rahmen des Forschungsprojektes *Aufbau des Deutschen Rettungsrobotik-Zentrum (A-DRZ)* erarbeitet, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 13N14856 gefördert wird.

Referenzen

1. Jendsch, W.: Die Feuerwehr heute: "Einsatz für Florian...!". Motorbuch-Verlag (2008)
2. Morgenroth, S., Schindler, S.: Feuerwehralltag. Rainer Hampp Verlag (2012)

3. Weidinger, J., Schlauderer, S., Overhage, S.: Analyzing the Potential of Graphical Building Information for Fire Emergency Responses: Findings from a Controlled Experiment. Tagungsband der Internationalen Tagung Wirtschaftsinformatik 2019. Human Practice. Digital Ecologies. Our Future (WI-2019). Siegen, Germany (2019)
4. Kawatsuma, S., Fukushima, M., Okada, T.: Emergency Response by Robots to Fukushima-Daiichi Accident: Summary and Lessons Learned. *Industrial Robot: An International Journal* 39, 428-435 (2012)
5. <https://hackaday.com/2019/04/17/the-drones-and-robots-that-helped-save-notre-dame/>
6. Murphy, R.R.: Trial by Fire [Rescue Robots]. *IEEE Robotics & Automation Magazine* 11, 50-61 (2004)
7. Murphy, R.R., Tadokoro, S., Nardi, D., Jacoff, A., Fiorini, P., Choset, H., Erkmen, A.M.: Search and Rescue Robotics. In: Siciliano, B., Khatib, O. (Hrsg.) *Springer Handbook of Robotics*. 1151-1173 (2008)
8. Willms, C., Houy, C., Rehse, J.-R., Fettke, P., Kruijff-Korbayová, I.: Team Communication Processing and Process Analytics for Supporting Robot-assisted Emergency Response. *Proceedings of 2019 IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR)*. IEEE, September 2-4, Würzburg, Germany (2019)
9. Hussung, C., Rehse, J.-R., Houy, C., Fettke, P.: Entwicklung eines Referenzprozessmodells für Rettungseinsätze der Feuerwehr und Anwendung als Grundlage eines Prozessassistenzsystems. *Proceedings der 15. Internationalen Tagung Wirtschaftsinformatik (WI-2020)*, Potsdam, Germany (2020)
10. Burke, J.L., Murphy, R.R., Coovert, M.D., Riddle, D.L.: Moonlight in Miami: Field Study of Human-Robot Interaction in the Context of an Urban Search and Rescue Disaster Response Training Exercise. *Human-Computer Interaction* 19, 85-116 (2004)
11. A., o.: FwDV 2: Ausbildung der freiwilligen Feuerwehr, https://www.idf.nrw.de/service/downloads/pdf/fwdv_2_stand_01_2012.pdf, letzter Abruf: 10.08.2019. (2012)
12. Mirbabaie, M., Fromm, J.: Reducing the Cognitive Load of Decision-Makers in Emergency Management through Augmented Reality. *Proceedings of the 27th European Conference on Information Systems (ECIS)*, Stockholm & Uppsala, Sweden (2019)
13. Murphy, R.R.: Trial by Fire [Rescue Robots]. *IEEE Robotics & Automation Magazine* 11, 50-61 (2004)
14. Negrello, F., Settini, A., Caporale, D., Lentini, G., Poggiani, M., Kanoulas, D., Muratore, L., Luberto, E., Santaera, G., Ciarleglio, L., others: Walk-man Humanoid Robot: Field Experiments in a Post-Earthquake Scenario. *IEEE Robotics & Automation Magazine* 25, 8-22 (2018)
15. Hofmann, M., Betke, H., Sackmann, S.: Process-oriented Disaster Response Management: A Structured Literature Review. *Business Process Management Journal* 21, 966-987 (2015)
16. Rüppel, U., Wagenknecht, A.: Improving Emergency Management by Formal Dynamic Process-Modelling. In: *24th Conference on Information Technology in Construction*, pp. 559-564. (2007)
17. Peinel, G., Rose, T., Wollert, A.: The Myth of Business Process Modelling for Emergency Management Planning. In: *9th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management (ISCRAM 2012)*. (2012)
18. van der Aalst, W.: *Process Mining – Data Science in Action*. Springer (2016)
19. A., o.: FwDV 100: Führung und Leitung im Einsatz, <https://www.idf.nrw.de/service/downloads/pdf/fwdv100.pdf>, letzter Abruf: 20.12.2019. (1999)

20. Hevner, A.R., March, S.T., Park, J., Ram, S.: Design Science in Information Systems Research. *MIS Quarterly* 28, 75-105 (2004)
21. Humphrey, C.M., Adams, J.A.: Robotic Tasks for Chemical, Biological, Radiological, Nuclear and Explosive Incident Response. *Advanced robotics* 23, 1217-1232 (2009)
22. A., o.: FwDV 1: Grundtätigkeiten - Lösch- und Hilfeleistungseinsatz. https://www.idf.nrw.de/service/downloads/pdf/fwdv1_stand_sept06.pdf, letzter Abruf: 20.12.2019. (2007)
23. A., o.: FwDV 3: Einheiten im Lösch- und Hilfeleistungseinsatz, https://www.idf.nrw.de/service/downloads/pdf/fwdv3_200802.pdf, letzter Abruf: 20.12.2019. (2008)
24. A., o.: FwDV 7: Atemschutz, <https://www.idf.nrw.de/service/downloads/pdf/fwdv7.pdf>, letzter Abruf: 20.12.2019. (2005)
25. Marten, D., Markus, M., Gumbel, D., Reinhardt, M., Weiss, S., Sieber, K., Domres, B.: Gebäudeeinsturz. Vernetzter Einsatz zur Rettung Verschütteter - Teil 2. *Notfallmedizin up2date* 9, 247-262 (2014)
26. A., o.: FwDV 500: Einheiten im ABC-Einsatz, https://www.idf.nrw.de/service/downloads/pdf/fwdv500_jan2012.pdf, letzter Abruf: 20.12.2019. (2012)
27. A., o.: LHW: Anleitung für den operativen Hochwasserschutz Teil 2 Verteidigung von Flussdeichen – Deichsicherung. (2015)
28. A., o.: FwDV 8: Tauchen, https://www.lfs-bw.de/Fachthemen/RechtOrganisation/Documents/FwDV/FwDV_008.pdf, letzter Abruf: 20.12.2019. (2014)
29. Verbeek, H.M.W., Buijs, J.C.A.M., van Dongen, B.F., van der Aalst, W.M.P.: XES, XE-Same, and ProM 6. In: *CAiSE Forum 2010: Information Systems Evolution*, pp. 60-75. Springer (2010)
30. Adriansyah, A., Sidorova, N., van Dongen, B.F.: Cost-based Fitness in Conformance Checking. *Eleventh International Conference on Application of Concurrency to System Design*, pp. 57-66. IEEE (2011)
31. Berti, A., van Zelst, S., van der Aalst, W.: Process Mining for Python (PM4Py): Bridging the Gap Between Process- and Data Science. *Proceedings of the ICPM Demo Track 2019*, pp. 13-16. CEUR-WS (2019)
32. Rehse, J.-R., Fettke, P., Loos, P.: A graph-theoretic method for the inductive development of reference process models. *Software & Systems Modeling* 16, 833-873 (2015)