

MAGISTERARBEIT

Titel der Magisterarbeit

„Der Rettungsdienst bei einem Massenanfall von Verletzten – ein Simulationsmodell in AnyLogic“

Verfasser

Helmut Niessner, Bakk. rer. soc. oec.

angestrebter akademischer Grad

Magister der Sozial- und Wirtschaftswissenschaften
(Mag. rer. soc. oec.)

Wien, im Jänner 2010

Studienkennzahl lt. Studienblatt:
Studienrichtung lt. Studienblatt:
Betreuerin:

A 066 915
Betriebswirtschaft
a.o.Univ.-Prof. Dr. Marion Rauner

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe.

Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Wien, am 30.01.2010

Unterschrift

(Helmut Niessner)

Vorwort

Schon während meines Magisterstudiums mit den Kernfachkombinationen „Innovations- und Technologiemanagement“ sowie „eBusiness“ nutze ich in der Vertiefung „Innovations- und Technologiemanagement im Gesundheitswesen“ mehrfach die Gelegenheit, mein großes Hobby, den Rettungsdienst, mit meinem Studium zu verbinden. Diese Verbindung konnte ich auch in meiner Magisterarbeit fortzuführen und damit einen wissenschaftlichen Blick auf meine Leidenschaft werfen.

Möglich gemacht hat dies alles Frau a.o.Univ.-Prof. Dr. Marion Rauner, der ich auf diesem Wege auch für ihre wirklich großartige Unterstützung meiner Arbeit sehr herzlich danken möchte.

Ganz besonders bedanken möchte ich mich bei meinen Eltern, Dr. Christine und Dr. Günther Niessner, die meine gesamte Ausbildung nicht nur finanziert, sondern mich dabei auch bei jeder Gelegenheit tatkräftig unterstützt haben.

All den Leuten, die mir während dieser Magisterarbeit mit Rat und Tat sowie ihrem Fachwissen zur Seite gestanden sind, allen voran Martin Steger und Werner Fuchs, möchte ich ebenfalls meinen herzlichen Dank aussprechen. Eine besonders wichtige Unterstützung stellte nicht zuletzt meine Freundin Sabine Bischof dar, der ich auf diesem Wege ebenfalls ganz herzlich danken möchte.

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	VII
Abbildungsverzeichnis	VIII
Abkürzungsverzeichnis	IX
1 Einführung.....	1
2 Literaturübersicht „Simulationen im Rettungsdienst“	3
2.1 Behandelte Problemstellung	4
2.2 Ansatz der Problembearbeitung.....	9
2.3 Art des quantitativen Modells	10
2.4 Untersuchte Fallstudie.....	16
2.5 Medium und Jahr der Veröffentlichung	18
3 Das SanHiSt-Konzept.....	23
3.1 Unterschiedliche Rettungssysteme	23
3.2 Großunfälle und Katastrophen	25
3.3 Aufbau einer Sanitätshilfsstelle	26
3.4 Triage und Triagegruppen	29
3.5 Der Ablauf bei einem Massenanfall von Verletzten	32
4 Die Simulation.....	35
4.1 Grundlagen von AnyLogic	35
4.2 Funktionsweise der Simulation	37
4.2.1 Der Patientenprozess	37
4.2.2 Hintergrundprozesse	40
4.2.3 Lebensenergie.....	42
4.2.4 Ressourcenmanagement.....	43
4.3 Einstellungen vor Simulationsbeginn	46
4.3.1 Situations-Einstellungen	46
4.3.2 Einsatzleiter-Entscheidungen	47
4.3.3 Spielmodus	48
4.4 Das Planspiel	48
4.5 Die Berechnung.....	52
5 Daten und Verteilungen.....	54
5.1 Einstellbare Parameter	55
5.2 Fix eingestellte Werte.....	58
5.3 Zufällig generierte Werte.....	59

6	Beispielszenarien.....	61
6.1	Szenario: Teileinsturz eines Stadionsdaches	61
6.2	Zugsunglück.....	66
6.3	Brand in einem Schulgebäude	71
7	Resümee.....	76
	Quellenverzeichnis.....	77
1)	Literatur der Literaturübersicht	77
2)	Zusätzliche Literatur.....	80
3)	Internetquellen	81
4)	Interviews.....	82
	Anhang.....	83
A)	Zusammenfassung.....	83
B)	Abstract	84
C)	Lebenslauf	85

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anwendungsbereich	5
Tabelle 2: Regionale Anwendbarkeit	6
Tabelle 3: Zeithorizont	6
Tabelle 4: Fokussierung	8
Tabelle 5: Problembearbeitung	9
Tabelle 6: Berechnungsmethode	11
Tabelle 7: Auswertungsmethode	12
Tabelle 8: Modellkomponenten, Teil 1	13
Tabelle 9: Modellkomponenten, Teil 2	14
Tabelle 10: Modellergebnisse, Teil 1	15
Tabelle 11: Modellergebnisse, Teil 2	15
Tabelle 12: Art der Fallstudie	17
Tabelle 13: Größe der Fallstudie	17
Tabelle 14: Anwendungsregion der Fallstudie	18
Tabelle 15: Veröffentlichungsjahr	19
Tabelle 16: Veröffentlichungsmedium, Teil 1	20
Tabelle 17: Veröffentlichungsmedium, Teil 2	21
Tabelle 18: Behandlungsgruppen	30
Tabelle 19: Patienten und Maßnahmen nach Triagegruppen	31
Tabelle 20: Wichtige DES-Elemente in AnyLogic	36
Tabelle 21: Prioritäten der Ressourcen-Zuweisung	45
Tabelle 22: Einstellbare Parameter: Schadensplatz	55
Tabelle 23: Einstellbare Parameter: Region	56
Tabelle 24: Einstellbare Parameter: Behandlungsplatz, Veranstaltung und Führungskräfte	57
Tabelle 25: Fix eingestellte Werte	58
Tabelle 26: Zufällig generierte Werte, Teil 1	59
Tabelle 27: Zufällig generierte Werte, Teil 2	60
Tabelle 28: Szenario: Teileinsturz eines Stadionsdachs; Einstellungen vor Simulationsbeginn	62
Tabelle 29: Szenario: Teileinsturz eines Stadionsdachs; Sensitivitätsanalyse	65
Tabelle 30: Szenario: Zugsunglück; Einstellungen vor Simulationsbeginn	67
Tabelle 31: Szenario: Zugsunglück; Sensitivitätsanalyse	70
Tabelle 32: Szenario: Brand im Schulgebäude; Einstellungen vor Simulationsbeginn	71
Tabelle 33: Szenario: Brand im Schulgebäude; Berechnung verschiedener Einstellungen	75

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Organisation im Schadensraum	27
Abbildung 2: PLS-Tasche	32
Abbildung 3: Patientenprozess, Teil 1	38
Abbildung 4: Patientenprozess, Teil 2	39
Abbildung 5: Hintergrundprozesse, Teil 1	40
Abbildung 6: Hintergrundprozesse, Teil 2	41
Abbildung 7: SanHiSt-Planspiel: Einstellungen vor Beginn	46
Abbildung 8: SanHiSt-Planspiel: Oberfläche.....	49
Abbildung 9: SanHiSt-Planspiel: Statistische Auswertungen	50
Abbildung 10: SanHiSt-Planspiel: Auslastungs-Analyse.....	51
Abbildung 11: SanHiSt-Berechnung: Ergebnisse.....	52
Abbildung 12: SanHiSt-Berechnung: Auslastungs-Analyse	53
Abbildung 13: Szenario: Teileinsturz eines Stadionsdachs; Planspiel nach 120 simulierten Minuten	63
Abbildung 14: Szenario: Teileinsturz eines Stadionsdachs; Auswertung des Planspiels	63
Abbildung 15: Szenario: Teileinsturz eines Stadionsdachs; Berechnungsergebnisse	64
Abbildung 16: Szenario: Teileinsturz eines Stadionsdachs; Berechnung der Auslastungen.....	65
Abbildung 17: Szenario: Zugsunglück; Planspiel nach 240 simulierten Minuten	68
Abbildung 18: Szenario: Zugsunglück; Auswertung des Planspiels	68
Abbildung 19: Szenario: Zugsunglück; Berechnungsergebnisse.....	69
Abbildung 20: Szenario: Zugsunglück; Berechnung der Auslastungen.....	69
Abbildung 21: Szenario: Brand im Schulgebäude; Planspiel nach 90 simulierten Minuten.....	72
Abbildung 22: Szenario: Brand im Schulgebäude; Auswertung des Planspiels	73
Abbildung 23: Szenario: Brand im Schulgebäude; Berechnungsergebnisse	73
Abbildung 24: Szenario: Brand im Schulgebäude; Berechnung der Auslastungen	75

Abkürzungsverzeichnis

BHP	Behandlungsplatz
bspw.....	beispielsweise
BT	Bergetriage
BTr.....	Behandlungstrupps
DES.....	Discrete Event Simulation
EL.....	Einsatzleitung
EMS.....	Emergency Medical Service
etc.....	et cetera
FIFO.....	first in, first out
GUS	Großunfallset
H.....	Hospital
i	Informationszentrum/-stelle
IIE	Institute of Industrial Engineers
INFOR.....	Information Systems and Operational Research
insb.	insbesondere
LE.....	Lebensenergie
LKW.....	Lastkraftwagen
LNA.....	Leitender Notarzt
M.....	(Leiter der) Material- und Meldestelle
MANV.....	Massenanfall von Verletzten
MLS	Mobile Leitstelle
NAH.....	Notarzthubschrauber
NAW.....	Notarztwagen
NEF.....	Notarzteinsatzfahrzeug
OR	Operations Research
PLS.....	Patientenleitsystem
RTW	Rettungstransportwagen
S	Seite
SanHiSt.....	Sanitätshilfsstelle

SaSt.USammelstelle Unverletzte

SaSt.T.....Sammelstelle Tote

tTote

T.....Triage

Transportber.transportbereit

UUnverletzte

u. A.unter Anderem

uswund so weiter

vs.versus

WA.....Warten auf Abtransport

WB.....Warten auf Behandlung

WV.....Warten auf Verlegung

z.B.....zum Beispiel

1 Einführung

18 Tote und 25 Schwerverletzte forderte ein Autobusunfall in Trahütten (Steiermark) am 21.1.1999 (Rotes Kreuz Steiermark, 1999), zwölf Todesopfer und 42 Verletzte ist die Bilanz eines Gefahrgutunfalls im Tauerntunnel im selben Jahr (Kleine Zeitung, 2009). Ende September 2006 mussten in einer Schule in Eisenstadt an einem Nachmittag 130 Schüler nach einer akuten Noroviren-Infektion versorgt werden, wobei 35 davon schwere Vergiftungserscheinungen aufwiesen (Rotes Kreuz Neunkirchen, 2006). Mehrere hintereinander stattfindende Massenkarambolagen auf der A1 zwischen Schörfling und Seewalchen kosteten am 30. September 2002 sieben Menschen das Leben und hatten zwölf Schwer- und 38 Leichtverletzte zur Folge (Freiwillige Feuerwehr Seewalchen, 2002). Fünf Tote und 38 Verletzte forderte eine Massenpanik nach einer Sportveranstaltung in Innsbruck im Dezember 1999 (News, 2002). Sechs Todesopfer, 15 Schwerst- und mehr als 20 Mittel- bis Schwerverletzte war die Bilanz eines Busunglücks in Hallein 2004 (News, 2004).

Derartige Großschadensereignisse, bei denen innerhalb kürzester Zeit unerwartet eine große Zahl an verletzten oder erkrankten Personen vom Rettungsdienst zu versorgen sind, treten in Österreich glücklicherweise nur selten, aber immer wieder und über das ganze Bundesgebiet verteilt, auf. Um in einem derartigen Fall rasch und effizient reagieren zu können, gibt es ein österreichweit einheitliches Konzept für die Vorgehensweise des Rettungsdienstes am Ort des Geschehens, welches auch in anderen mitteleuropäischen Staaten in ähnlicher Form angewendet wird.

Die großen Unterschiede zwischen den Ereignissen liegen nicht nur im Geschehen selbst und der daraus resultierenden Anzahl von Patienten, sondern auch in den gesamten Rahmen- und Umweltbedingungen, die sich für die Einsatzkräfte vor Ort ergeben. Jedes Großschadensereignis ist so einzigartig, dass sich daraus kaum allgemeine Aussagen zum bestmöglichen Verhalten treffen lassen, da im Nachhinein keinerlei Möglichkeit besteht, die Auswirkungen von geänderten Rahmenbedingungen oder anders getroffenen Entscheidungen zu untersuchen.

Abhilfe schafft hier die im Zuge dieser Magisterarbeit entwickelte Simulation. Mit ihrer Hilfe ist es möglich, die Arbeit des Rettungsdienstes bei einem Großschadensereignis darzustellen, wobei es die vielfältigen Einstellungsvarianten erlauben, verschiedenste Szenarien zu simulieren. So sind vom Zugangslück in einem abgelegenen Tal bis zum Tribüneneinsturz bei einer Großveranstaltung alle Möglichkeiten und Eventualitäten durchspiel- und berechenbar.

Die Simulation kann durch die implementierte Planspiel-Oberfläche bei der Ausbildung von Führungskräften im Rettungsdienst zum Einsatz kommen. Diese können sich mit ihrer Hilfe besser in mögliche Szenarien hineinversetzen, die Abläufe vor Ort kennenlernen und sich auf ihre Verwendung als Einsatzleiter vorbereiten.

Andererseits kann die hier vorgestellte Simulation auch erstmalig zur Gewinnung von statistisch signifikanten Daten für mögliche Großeinsätze des Rettungsdienstes verwendet werden. Dadurch ist es möglich, neue Erkenntnisse über das optimale Vorgehen und die bestmögliche Patientenversorgung an Ort und Stelle zu gewinnen.

Um die Einordnung dieser Arbeit in die internationalen wissenschaftlichen Bemühungen in diesem Bereich zu ermöglichen, zeigt das folgende Kapitel eine Literaturübersicht zum Thema „Simulationen im Rettungsdienst“. In Kapitel 3 wird anschließend das allgemeine Konzept der österreichischen Rettungsdienste zur Abwicklung von Großschadensereignissen vorgestellt.

Die entwickelte Simulation wird im Detail im vierten Kapitel erläutert, darauf folgen die Angaben zu den im Programm verwendeten Daten und Verteilungen. Kapitel 6 zeigt schließlich anhand von drei fiktiven Beispielen die Möglichkeiten und Ergebnisse der Simulation, gefolgt von einem Resümee und einem Ausblick auf weitere Entwicklungen.

2 Literaturübersicht „Simulationen im Rettungsdienst“

Dieses Kapitel bietet eine umfassende Literaturübersicht über Forschungsarbeiten zum Themenkomplex „Simulationen im Rettungsdienst“. Artikel, die in den letzten 20 Jahren in den führenden wissenschaftlichen Journalen zu diesem Thema veröffentlicht wurden, werden im Folgenden in verschiedenste Kategorien eingeteilt und in Tabellenform übersichtlich dargestellt (die Zahlen in den eckigen Klammern kennzeichnen den jeweiligen Artikel, zu finden im Quellenverzeichnis).

Darüber hinaus wird auch das in den darauf folgenden Kapiteln vorgestellte Simulationsmodell in diese Kategorisierung eingereiht (in jeder Tabelle mit [X] gekennzeichnet), wodurch eine Einordnung dieser Magisterarbeit in die aktuelle Forschung ermöglicht wird.

Thematisch beschränkt wurde die Auswahl an Papers durch die Vorgabe, dass sie eine Simulation bzw. ein Simulationsmodell beschreiben sollten, welches primär auf den Rettungsdienst fokussiert oder zumindest den Rettungsdienst zu einem beträchtlichen Teil mit einbezieht. Dadurch wurde eine große Zahl an Arbeiten, die sich bspw. lediglich mit den Krankenhaus-Notaufnahmen oder Katastrophenfällen im Allgemeinen beschäftigen, trotz der prinzipiellen thematischen Ähnlichkeit in dieser Literaturübersicht nicht berücksichtigt.

Durch die großen technologischen Fortschritte der Datenverarbeitungs- und damit auch der Simulationstechnik in den letzten Jahren haben sich die Simulationsmodelle in kurzer Zeit in Bezug auf die Einsatzmöglichkeiten und deren Komplexität sehr stark verändert. Deshalb wurden lediglich Artikel berücksichtigt, die in den letzten 20 Jahren, also konkret ab dem Jahr 1990, veröffentlicht wurden.

Die Suche selbst wurde mit diesen Suchbegriff-Kombinationen gestartet:

- computer simulation EMS
- simulation EMS
- simulation ambulance(s)
- simulation emergency medical service

Damit wurden folgende Datenbanken mit wissenschaftlichen Artikeln durchsucht:

- PubMed
- ABI/Inform
- Web of Science (ISI Web of Knowledge)
- MedPilot (Deutsch)
- International Abstracts in Operations Research
- JSTOR

Des Weiteren wurden die von den Datenbanken teilweise automatisch vorgeschlagenen, ähnlichen Artikel ebenso wie die gesamten Referenzen aller gefundenen Papers auf weitere, möglicherweise relevante Arbeiten hin durchsucht.

Durch diese Vorgehensweise konnten 43 thematisch passende Artikeln gefunden und somit ein relativ umfassendes Bild der aktuellen wissenschaftlichen Arbeit zum Themenbereich „Simulation im Rettungsdienst“ geschaffen werden, wodurch selbstverständlich kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben wird.

Die folgenden Teile dieses Kapitels stellen die verwendete Taxonomie sowie die Einordnung der Papers in diese vor. Abschnitt 2.1 geht dabei den grundsätzlichen Fragen zu den in den Simulationen behandelten Problemstellungen nach, während sich das darauf folgende Kapitel mit dem Lösungsweg und dem verwendeten Ansatz beschäftigt. Im Abschnitt 2.3 wird das in den Artikeln beschriebene, quantitative Modell analysiert, gefolgt von einer Übersicht über die untersuchten Fallstudien. Der letzte Abschnitt dieses Kapitels stellt schließlich die Veröffentlichungsmedien und –jahre der Papers dar.

2.1 Behandelte Problemstellung

Ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal der untersuchten Simulationen ist die Frage nach der behandelten Problemstellung, also welche Szenarien mit dem Modell dargestellt und welche Aufgaben dadurch bewältigt werden können.

Im grundsätzlichen Anwendungsbereich der Simulationen kann man unterscheiden, ob diese für den normalen Betrieb (Regelbetrieb) oder eine Ausnahmesituation geeignet sind. Ausnahmesituationen im Rettungsdienst sind meistens ein Massenanfall von Verletzten (MANV), also ein gleichzeitiges Auftreten von sehr vielen zu behandelnden Patienten aufgrund eines bestimmten Ereignisses (bspw. ein Zugunglück). Hierbei wird in dieser Übersicht wiederum unterschieden, ob die Simulation nur für bestimmte (spezielle) oder für alle MANV jeglicher Art verwendet werden können. Ein weiterer Spezialfall außerhalb des Regelbetriebes, dem sich ein Paper widmet, ist die Reallokation (Übersiedelung) von Krankenhäusern.

Tabelle 1 zeigt die Kategorisierung der untersuchten Papers nach dem möglichen Anwendungsbereich der zugrunde liegenden Simulation. Dabei ist eindeutig ersichtlich, dass sich der Großteil der Simulationsmodelle im Rettungsdienst nur mit dem Regelbetrieb beschäftigt, während nur sehr wenige auf Ausnahmesituationen eingehen. Das in dieser Arbeit vorgestellte Simulationsmodell lässt sich hingegen auf jeden beliebigen MANV anwenden.

Anwendungsbereich	[1] [3] [4] [5] [6] [8] [9] [10] [13] [14] [15] [16] [17] [19] [20] [21] [22] [23] [24] [27] [29] [30] [31] [32] [33] [34] [35] [37] [38] [39] [40] [43]		[7] [11] [12] [36]	[18] [25] [26] [28] [41] [42] X
	Normaler Betrieb			
Massenanfall von Verletzten				
<i>Allgemein</i>				
<i>Speziell</i>				
Reallokation von Krankenhäusern				

Tabelle 1: Anwendungsbereich (Quelle: Eigene Darstellung)

Ein weiteres, wichtiges Kriterium der Problemstellung ist, ob das Modell nur regional beschränkt oder vollkommen unbeschränkt und damit global anwendbar sein muss. Eine regionale Beschränkung ist oft durch die genaue Einarbeitung der Umgebung (bspw. durch die Nachbildung von Straßenkarten) oder die Simulation von regional beschränkten Anweisungen und Richtlinien (bspw. durch die dort tätigen Rettungsorganisationen oder Behörden) gekennzeichnet.

Beinahe die Hälfte der untersuchten Simulationsmodelle ist regional beschränkt, während die andere Hälfte, genauso wie das hier vorgestellte Modell, nicht regional beschränkt ist (siehe Tabelle 2).

Regionale Anwendbarkeit	[1] [3] [4] [5] [6] [8] [9] [11] [12] [13] [15] [17] [18] [22] [23] [25] [26] [29] [32] [34] [41] [42] [X]	[2] [7] [10] [14] [16] [19] [20] [21] [24] [27] [28] [30] [31] [33] [35] [36] [37] [38] [39] [40] [43]
Regional beschränkt		
Nicht regional beschränkt		

Tabelle 2: Regionale Anwendbarkeit (Quelle: eigene Darstellung)

Auch die Frage nach dem zu simulierenden Zeithorizont ist essentiell für die Einordnung der Arbeiten im Bereich der behandelten Problemstellung. Wie in der Betriebswirtschafts-Literatur üblich, wurden auch hier die drei Stufen Strategisch, Taktisch und Operativ unterschieden, wobei Operativ mit unter 6 Stunden, Taktisch mit unter einer Woche und Strategisch mit über einer Woche festgelegt wurden.

Aus Tabelle 3 ist ersichtlich, dass der überwiegende Teil der Modelle für einen längeren Zeitraum gedacht sind, während sich die taktischen und operativen (worunter auch dieses Modell fällt, da es üblicherweise nur Zeiträume von einigen Stunden simuliert) in der Minderzahl befinden. Einige untersuchte Modelle können hingegen sehr unterschiedliche Zeiträume darstellen, weswegen sie zwei ([1], [28] und [32]) oder allen Kategorien ([6]) zugeordnet wurden.

Zeithorizont	[1] [28] [32]	[2] [11] [12] [18] [36] [42] [43]	[3] [4] [5] [8] [9] [10] [13] [14] [16] [17] [19] [20] [21] [22] [23] [24] [27] [29] [30] [31] [33] [34] [35] [37] [38] [39] [40]	[6]	[7] [15] [25] [26] [41] [X]
Strategisch					
Taktisch					
Operativ					

Tabelle 3: Zeithorizont (Quelle: eigene Darstellung)

Auch in einem relativ spezialisierten Anwendungsgebiet wie dem Rettungsdienst gibt es wiederum viele verschiedene Bereiche, die mit Hilfe eines Computerprogramms simuliert werden können. Tabelle 4 zeigt deutlich, dass der wichtigste wissenschaftliche Einsatzbereich von Simulationen im Rettungsdienst die statische Lokation/Allokation von Fahrzeugen ist. In diesen Untersuchungen wird der Frage nachgegangen, wo Rettungsfahrzeuge (bzw. ihre Basen/Ausgangspunkte) in einem abgegrenzten Gebiet positioniert werden sollen, um ein bestimmtes Ziel (üblicherweise die Gebietsabdeckung oder maximale/durchschnittliche Einsatzzeiten) zu erreichen.

Im Gegensatz dazu beschäftigt sich die dynamische Lokation/Allokation von Fahrzeugen mit der Frage, wo freie Rettungsfahrzeuge während ihres Dienstes auf den nächsten Einsatz warten sollen. Dies wird oft auch zusammen mit der Disponierung, also der Zuteilung der Einsätze zu den Rettungswägen, bzw. unterschiedlichen Disponierungssystemen untersucht.

Sonderstützpunkte sind im Prinzip mit den in dieser Arbeit vorgestellten Sanitätshilfsstellen (siehe Abschnitt 3.3) gleichzusetzen. Deren optimale Positionierung in einem Schadensbereich wird in [42] simuliert. Bei einem derartigen Massenanfall von Patienten ist meist auch eine Triagierung der Patienten, also eine Einteilung in verschiedene Dringlichkeitsstufen, notwendig. Manche Papers (genau wie das hier gezeigte Modell) simulieren zusätzlich auch gleich die Versorgung der Patienten vor Ort, so eine solche stattfindet.

Für viele, vor allem langfristige Untersuchungen ist eine möglichst exakte Vorhersage des Einsatzaufkommens (der Ort und die Zeit des Patientenanfalls) notwendig und wird daher in mehreren Modellen dargestellt. Ebenso für den Regelbetrieb gedacht sind Modelle, die unterschiedliche Betriebszeiten von einzelnen Rettungsmitteln oder Stationen berücksichtigen oder verschiedene Dienstzeitsysteme (meist Schichtdienste) austesten.

Die Übersicht der Fokussierungen zeigt sehr deutlich, dass der Rettungsdienst viele verschiedene Anwendungsbereiche für Simulationen bietet, die nicht nur einzeln, sondern sehr oft auch in den unterschiedlichsten Kombinationen in Modelle eingearbeitet werden.

Der Rettungsdienst bei einem Massenanstfall von Verletzten – ein Simulationsmodell in AnyLogic

Fokussierung	[1]	[2]	[3] [4] [5] [8] [9] [12] [16] [17] [20] [29] [34]	[6] [13]	[7]	[10] [24]	[11]	[14] [32]	[19]	[21]	[22] [23] [33]	[25] [28]	[26] [41]	[27]	[31]	[35]	[36]	[42]
	[15] [18]	[37]	[38] [39] [40]	[30] [43]								[X]						
Lokation/Allokation der Fahrzeuge											X							
<i>Statisch</i>			X			X									X	X		
<i>Dynamisch</i>	X							X		X					X	X		
Positionierung der Sonderstützpunkte																		X
Betriebszeiten									X	X								
Dienstzeiten						X									X			
Vorhersage des Einsatzaufkommens				X														X
Disponierung der Autos	X									X	X		X	X		X		X
Triagierung					X							X						
Patientenversorgung							X					X					X	
Transport		X			X		X					X	X		X		X	X

Tabelle 4: Fokussierung (Quelle: eigene Darstellung)

2.2 Ansatz der Problembearbeitung

Die Art der Problembearbeitung lässt sich in zwei verschiedenen Dimensionen analysieren: Einerseits kann unterschieden werden, ob der Lösungsansatz rein theoretischer Natur ist oder auf der Analyse bereits verwendeter Praktiken bzw. Vorgehensweisen (bspw. in bestimmten Rettungsorganisationen oder staatlichen Einrichtungen) aufbaut. Andererseits besteht ein wichtiger Unterschied darin, ob der eingeschlagene Lösungsweg in der wissenschaftlichen Literatur bereits öfter diskutiert wurde (also inzwischen Standard ist) oder es die erstmalige Erwähnung dieses (somit innovativen) Weges ist (Denizel et al., 2003, S. 714).

22 der in dieser Übersicht untersuchten 43 Papers setzen, genauso wie das hier vorgestellte Modell, bei ihrer Simulation auf einen praktischen Ansatz, welcher mit einem innovativen Lösungsweg kombiniert wird (siehe Tabelle 5). Dies sind meistens Arbeiten, die sich erstmalig mit einer bestimmten Organisation, einer eingeschränkten Gegend oder einer von staatlichen Stellen festgelegten Vorgehensweise beschäftigten und daher nicht auf bestehende Arbeiten aufbauen können.

Problembearbeitung	[1] [3] [4] [9] [14] [15] [17] [18] [22] [23] [29] [32] [34] [41]	[2] [7] [10] [11] [13] [16] [19] [20] [21] [24] [27] [28] [30] [31] [33] [35] [36] [37] [38] [39] [40] [43] [X]	[5] [12] [25] [26] [42]	[6] [8]
Ansatz				
<i>theoretisch</i>				
<i>praktisch</i>				
Lösungsweg				
<i>standard</i>				
<i>innovativ</i>				

Tabelle 5: Problembearbeitung (Quelle: eigene Darstellung)

Im Gegensatz dazu zeigt Tabelle 5, dass 14 Artikeln auf einer bereits bestehenden wissenschaftlichen Grundlage basieren und einen theoretischer Lösungsansatz verwenden. Ein theoretischer Ansatz mit innovativem Lösungsweg, aber auch ein praktischer Ansatz mit einem Standard-Lösungsweg sind hingegen eher die Ausnahme.

2.3 Art des quantitativen Modells

Bei der Untersuchung der publizierten Modelle wurden folgende Dimensionen unterschieden: die Berechnungsmethode, die Auswertungsmethode, die Modellkomponenten und die Modellergebnisse.

Aus Tabelle 6 ist ersichtlich, um welche Art von Modell bzw. um welche Berechnungsmethode es sich bei den Artikeln handelt. Die entsprechende Taxonomie aus (Rauner, 2009) wurde für diese Übersicht angepasst, etwas detaillierter gestaltet und mit den Heuristiken erweitert.

Die beliebteste Berechnungsmethode im Bereich des Rettungsdienstes ist eindeutig die Discrete Event Simulation (DES), auf der auch das in dieser Arbeit vorgestellte Modell beruht und welche auch gerne in Kombinationen mit anderen Modellen verwendet wird. Daneben gibt es allerdings auch eine Vielzahl von unterschiedlichen Modell-Arten (bspw. geographische, statistische, Covering Location und Queuing Theory Modelle), die aber meist nur bei einzelnen Arbeiten eingesetzt werden.

Die Dimension der Auswertungsmethode umfasst drei verschiedene Einteilungen: Bei der Status-Quo-Darstellung wird lediglich die aktuelle Situation in einem Simulationsmodell abgebildet, ohne die Möglichkeit, verschiedene Einstellungen auszuprobieren. Eine einfache Szenarioanalyse untersucht verschiedene Szenarien, deren Basiskonfiguration (bspw. unterschiedliche Fahrzeug-Basen) üblicherweise händisch ausgewählt werden und deren Anzahl damit beschränkt ist. Dem gegenüber steht die umfassende Szenarioanalyse, die die Simulation einer großen Zahl von unterschiedlichen Konfigurationen zulässt, die üblicherweise wiederum automatisch ausgewählt werden.

Der Rettungsdienst bei einem Massenanstfall von Verletzten – ein Simulationsmodell in AnyLogic

Berechnungsmethode	[1] [33]	[2] [7] [11] [16] [19] [24] [25] [27] [28] [37] [38] [39] [40] [43] [X]	[3]	[4] [17]	[5]	[6]	[8] [21]	[9] [20]	[10]	[12]	[13] [30]	[14]	[15]	[18] [26]	[22] [23]	[29]	[31]	[32]	[34]	[35]	[36]	[41]	[42]
	Geografisches Modell							X		X								X				X	
Statistisches Modell						X																	
Covering Location Modell	X				X											X		X					
Queuing Theory Modell			X	X											X	X			X				
Netzwerk-Modell														X						X			X
Cluster-Modell														X									
Monte Carlo Simulation			X				X	X		X				X									
Discrete Event Simulation	X	X					X				X			X	X			X	X	X			
Agent Based Simulation																					X		
Optimierungsmodell	X				X			X		X		X				X		X					X
Heuristiken																							
<i>Tabu Search</i>										X			X					X					
<i>Genetic Algorithm</i>															X								
<i>Ant Colony Optimization</i>																						X	
<i>Simulated Annealing</i>										X													

Tabelle 6: Berechnungsmethode (Quelle: eigene Darstellung)

Knapp die Hälfte der untersuchten Papers (bspw. [2], [3], [8], etc.) sind einfache Szenarioanalysen, genauso wie die im Folgenden vorgestellte Simulation (siehe Tabelle 7). Beinahe genauso viele bieten eine umfassende Szenarioanalyse (wie z.B. [1], [4], [5],...), während sich lediglich fünf Arbeiten mit einer Status-Quo-Darstellung beschäftigen (u. A. [6], [7], und [11]).

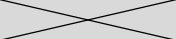
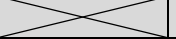

Auswertungsmethode	[1] [4] [5] [9]	[2] [3] [8] [10]	[6]
	[12] [14] [15]	[13] [16] [19]	[7]
	[17] [18] [20]	[21] [24] [25]	[11]
	[22] [23] [26]	[27] [31] [33]	[28]
	[29] [32] [34]	[35] [36] [37]	[30]
	[41] [42]	[43] [X]	
Umfassende Szenarioanalyse			
Einfache Szenarioanalyse			
Status-Quo-Darstellung			

Tabelle 7: Auswertungsmethode (Quelle: eigene Darstellung)

Tabelle 8 und Tabelle 9 zeigen die Einteilung der untersuchten Papers nach den Komponenten, die für das dargestellte Modell essentiell sind. Es zeigt sich sehr deutlich, dass sich die Modelle deutlich in ihren Komponenten unterscheiden, weshalb keine dominierende Modellart herausgelesen werden kann.

Beinahe alle Modelle (mit Ausnahme von [5], [6], [13] und das hier vorgestellte Modell) haben sowohl Bestandteile, die sich mit dem Transport von Patienten, als auch solche, die sich mit den Patienten selbst bzw. dem Patientenaufkommen beschäftigen. Während die Krankenhäuser noch etwas häufiger in die Simulationen mit einbezogen werden, ist dies bei dem Personal und insbesondere auch bei Ausstattung und Material nur noch selten der Fall.

Bei den Ergebnissen, die die untersuchten Simulationsmodelle liefern, zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei den Modellkomponenten (siehe Tabelle 10 und Tabelle 11). Durch die breite Streuung an unterschiedlichen Auswertungen lässt sich kein einheitliches Bild der wichtigsten Modellergebnisse zeichnen. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Modelle teilweise sehr unterschiedliche Zielsetzungen verfolgen und dadurch andere Auswertungen bieten.

Der Rettungsdienst bei einem Massenansturz von Verletzten – ein Simulationsmodell in AnyLogic

Modell-komponenten	[1]	[2]	[3] [4]	[5]	[6] [13]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[14]	[15]	[16] [22]	[17]	[18]	[19]	[20]	[21]	[23] [32]	[24]	
Transport																						
Anzahl der Fahrzeuge	X	X	X	X		X		X			X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X
Mögliche Fahrzeugstützpunkte			X	X			X		X		X	X	X	X	X			X	X	X	X	X
Länge der Transportwege	X	X		X			X		X		X	X	X	X				X	X	X	X	X
Qualitätsstufen der Transportwege									X		X	X	X	X				X	X	X	X	X
Geschwindigkeit der Fahrzeuge									X		X	X	X	X		X		X	X	X	X	X
Zeit bis zur Ausfahrt des Fahrzeugs									X		X	X	X	X				X	X	X	X	X
Patienten																						
Anzahl der Patienten		X				X				X	X					X						
Zeitliche Verteilung des Patientenaufkommens	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Örtliche Verteilung des Patientenaufkommens	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Unterschiedliche Erkrankungs-/Verletzungsarten	X					X		X					X						X	X	X	X
Zeitaufwand pro Patient		X				X	X	X							X				X	X	X	X
Demographische Daten der Bevölkerung																						
Krankenhäuser																						
Anzahl der Krankenhäuser						X	X			X	X					X						X
Aufnahmekapazitäten						X	X			X	X					X						X
Zeitaufwand des Rettungspersonals im Krankenhaus		X							X						X				X	X	X	X
Personal																						
Personalstand		X																				X
Zeitliche Verfügbarkeit des Rettungspersonals												X										X
Ausstattung/Material		X									X											

Tabelle 8: Modellkomponenten, Teil 1 (Quelle: eigene Darstellung)

Der Rettungsdienst bei einem Massenanstfall von Verletzten – ein Simulationsmodell in AnyLogic

Modell-komponenten	[25]	[26]	[27]	[28]	[29]	[30]	[31]	[32]	[33]	[34]	[35]	[36]	[37]	[38]	[39]	[40]	[41] [42]	[43]	[X]
Transport																			
<i>Anzahl der Fahrzeuge</i>		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	
<i>Mögliche Fahrzeugstützpunkte</i>																			
<i>Länge der Transportwege</i>	X	X	X																
<i>Qualitätsstufen der Transportwege</i>		X	X																
<i>Geschwindigkeit der Fahrzeuge</i>	X	X	X				X						X						X
<i>Zeit bis zur Ausfahrt des Fahrzeugs</i>							X		X		X			X	X				
Patienten																			
<i>Anzahl der Patienten</i>	X	X		X								X					X		X
<i>Zeitliche Verteilung des Patientenaufkommens</i>				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Örtliche Verteilung des Patientenaufkommens</i>				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Unterschiedliche Erkrankungs-/Verletzungsarten</i>	X	X	X	X	X														X
<i>Zeitaufwand pro Patient</i>	X	X	X	X	X			X		X		X		X	X				X
<i>Demographische Daten der Bevölkerung</i>						X						X							X
Krankenhäuser																			
<i>Anzahl der Krankenhäuser</i>	X	X	X							X	X	X	X		X		X	X	
<i>Aufnahmekapazitäten</i>		X	X	X															
<i>Zeitaufwand des Rettungspersonals im Krankenhaus</i>			X				X		X						X				X
Personal																			
<i>Personalstand</i>			X	X	X						X								X
<i>Zeitliche Verfügbarkeit des Rettungspersonals</i>			X	X	X		X				X								X
Ausstattung/Material				X															

Tabelle 9: Modellkomponenten, Teil 2 (Quelle: eigene Darstellung)

Der Rettungsdienst bei einem Massenanfall von Verletzten – ein Simulationsmodell in AnyLogic

Modellergebnisse	[1] [15] [31] [33]	[2]	[3]	[4]	[5] [32]	[7] [26] [27]	[8] [30]	[9]	[10]	[11]	[12]	[14] [21]	[16] [40]	[17]	[18] [42]
Kosten		X							X						
Auslastung															
<i>Auslastung des Personals</i>		X	X						X						
<i>Auslastung von Ausstattung/Material</i>		X	X							X					
<i>Auslastung der Fahrzeuge</i>		X	X	X					X				X	X	
Patienten															
<i>Gebietsabdeckung</i>	X		X		X				X			X	X		
<i>Überlebende/Todesfälle</i>										X	X				
<i>Nicht bearbeitete Notrufe (Loss/Error)</i>			X	X											
Zeitdauer															
<i>Wartezeiten</i>	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Transportdauer</i>		X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Gesamtdauer</i>					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabelle 10: Modellergebnisse, Teil 1 (Quelle: eigene Darstellung)

Modellergebnisse	[19] [39] [43]	[20]	[22]	[23]	[24]	[25]	[28]	[29] [35]	[34]	[36]	[37]	[38]	[41]	[X]
Kosten		X									X	X		
Auslastung														
<i>Auslastung des Personals</i>					X		X			X				X
<i>Auslastung von Ausstattung/Material</i>														
<i>Auslastung der Fahrzeuge</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		
Patienten														
<i>Gebietsabdeckung</i>		X	X	X	X			X	X					
<i>Überlebende/Todesfälle</i>						X	X	X		X	X			X
<i>Nicht bearbeitete Notrufe (Loss/Error)</i>			X	X					X					
Zeitdauer														
<i>Wartezeiten</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Transportdauer</i>	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Gesamtdauer</i>	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabelle 11: Modellergebnisse, Teil 2 (Quelle: eigene Darstellung)

Sehr schön zeigt sich allerdings in der Übersicht, dass Kosten nur in sehr wenigen Fällen berechnet werden (in [2], [10], [20], [37] und [38]). Daraus lässt sich schließen, dass für die Evaluierung von Rettungsdiensten meist nicht finanzielle, sondern andere Faktoren wie Abdeckung oder Wartezeiten, die in beinahe jedem Modellergebnis aufscheinen, maßgeblich sind.

Während die Auslastungen von Personal, Material oder Fahrzeugen ebenso wie die Wartezeiten in allen Typen von Modellen berechnet werden, sind Auswertungen der Gebietsabdeckung oder der nicht bearbeiteten Notrufe lediglich bei Modellen des Regelbetriebs und Auswertungen der Überlebenden/Todesfälle fast ausschließlich bei Modellen eines MANV üblich.

2.4 Untersuchte Fallstudie

Beinahe alle untersuchten Arbeiten wenden ihr Simulationsmodell in einer Fallstudie an (mit Ausnahme von [9] und [41]). Im Folgenden werden nun diese Fallstudien auf ihre Art, ihre Größe und ihre mögliche Anwendungsregion hin untersucht.

Aus Tabelle 12 ist ersichtlich, dass 30 von 41 Fallstudien – und damit der überwiegende Großteil – realer Natur sind bzw. einen mit realem Hintergrund haben, während der Rest, genauso wie die in dieser Arbeit gezeigten Fallstudien, lediglich fiktiv ist.

Dies zeigt einerseits, dass bei der Untersuchung von Rettungsdiensten eher Fragestellungen mit konkreten Anwendungen im Vordergrund stehen, während rein theoretische Analysen sehr selten sind. Andererseits zeigen sich auch Unterschiede in der Fallstudie je nach Art der Fragestellung: Analysen des Regelbetriebes werden fast immer auf eine konkrete Fallstudie angewendet (bspw. [1], [3], [4], etc.), während bei der Simulation von Massenanfällen von Verletzten durch den Mangel an echten bzw. verlässlichen Daten oder aufgrund des Präventions-Charakters eher auf fiktive Fallstudien gesetzt wird (z.B. [7], [11], [12], usw.).

Art der Fallstudie	[1] [2] [3] [4] [6] [8] [10] [13] [14] [15] [16] [19] [20] [21] [22] [23] [24] [27] [29] [30] [31] [32] [33] [34] [35] [37] [38] [39] [40] [43]	[5] [7] [11] [12] [17] [18] [25] [26] [28] [36] [42] [X]
Fiktive Fallstudie		
Reale Fallstudie		

Tabelle 12: Art der Fallstudie (Quelle: eigene Darstellung)

Bei der Größe der Fallstudie wird unterschieden, ob deren Umfang lediglich lokal (kleines Gebiet, scharf abgegrenzt), regional (größeres Gebiet, bspw. Stadt und Umgebung, möglicherweise nicht scharf abgegrenzt) oder national (gesamtes Staatsgebiet) ist.

Großteils sind die simulierten Fallstudien regional (bspw. [1], [3], [4], etc.), decken also ein etwas größeres Gebiet ab (siehe Tabelle 13). 13 der 41 Fallstudien sind, ebenso wie die hier gezeigten, lediglich von lokaler Ausdehnung, nur eine ([20]) analysiert in der Fallstudie ein gesamtes Staatsgebiet. Größere Fallstudien, also mit internationaler Ausdehnung, konnten nicht gefunden werden.

Größe der Fallstudie	[1] [3] [4] [5] [6] [8] [11] [13] [14] [15] [17] [18] [19] [21] [22] [23] [26] [27] [28] [29] [30] [31] [32] [35] [37] [38] [42]	[2] [7] [10] [12] [16] [24] [25] [33] [34] [36] [39] [40] [43] [X]	[20]
Lokal			
Regional			
National			

Tabelle 13: Größe der Fallstudie (Quelle: eigene Darstellung)

Die Dimension der Anwendungsregion der Fallstudie unterscheidet, auf welchem Kontinent bzw. in welcher großen Region die Fallstudie situiert ist. Dies ist meist (aber nicht ausschließlich) durch den Aufenthaltsort der Autoren bestimmt und beeinflusst durch die unterschiedlichen Rettungssysteme (siehe Abschnitt 3.1) oft auch den grundlegenden Aufbau des Modells.

Anwendungsregion der Fallstudie	[1] [11] [12] [13] [27] [30] [42] [X]	[2] [5] [6] [7] [8] [10] [14] [15] [16] [17] [18] [19] [24] [26] [28] [29] [32] [33] [34] [35] [36] [37] [40]	[3] [4] [20] [22] [23]	[21]	[25] [38] [39] [43]	[31]
Nordamerika						
Mittel- und Südamerika						
Europa						
Mittlerer Osten						
Ost-Asien						
Australien						

Tabelle 14: Anwendungsregion der Fallstudie (Quelle: eigene Darstellung)

Tabelle 14 zeigt, dass etwas mehr als die Hälfte der Arbeiten Fallstudien verwendet, die in Nordamerika situiert sind (z.B. [2], [5], [6], usw.). Sieben Papers sowie diese Arbeit stützen sich auf Fallstudien in Europa (bspw. [1], [11], [12],...), fünf auf solche aus Mittel- und Südamerika (u.A. [3], [4] und [20]) und vier wenden ihr Modell in Ost-Asien an ([25], [38], [29] und [43]). Jeweils nur eine Arbeit beschäftigt sich mit Australien ([21]) und dem Mittleren Osten ([31]).

2.5 Medium und Jahr der Veröffentlichung

Im letzten Abschnitt dieser Literaturübersicht wird untersucht, in welchem Jahr und in welchem Medium die einzelnen Artikel erschienen sind. Daraus lässt sich sowohl die Aktualität als auch die Zuordnung des Themas „Simulationen im Rettungsdienst“ zu einem oder mehreren Fachgebieten ablesen.

Dass der Rettungsdienst mittels Simulationsmodellen zunehmend untersucht wird und dadurch das Thema an Bedeutung gewinnt, zeigt Tabelle 15 sehr deutlich. So wurden in den Jahren 1990 bis 1997 lediglich zehn Artikel (z.B. [5], [16], usw.) zu diesem Themengebiet veröffentlicht, während in den Jahren 2002 bis 2009 (wobei das letzte Jahr nicht mehr vollständig erfasst werden konnte) bereits 28 Papers (u.A. [1], [2], [3], usw.) dazu veröffentlicht wurden.

Veröffentlichungsjahr	[1] [2] [3] [4] [6] [9] [13] [14] [18] [22] [23] [25] [26] [29] [30] [32] [34] [36] [41] [42]	[5] [16] [17] [28] [35] [40] [43]	[7] [10] [11] [12] [15]	[8] [33] [37]	[19] [20] [21] [24] [27] [31] [38] [39]
1990 - 1993		X			
1994 - 1997				X	
1998 - 2001			X		
2002 - 2005					X
2006 - 2009	X				

Tabelle 15: Veröffentlichungsjahr (Quelle: eigene Darstellung)

Die Dimension des Veröffentlichungsmediums unterscheidet grob nach Bücher, Konferenzen und den verschiedenen Fachgebieten für Journale. In der Detail-Unterscheidung werden schließlich die konkreten Journale bzw. Konferenzen oder Bücher aufgeführt und danach die Papers eingeteilt.

Tabelle 16 und Tabelle 17 zeigen, dass die meisten (zwölf) Veröffentlichungen von Arbeiten zum Thema „Simulationen im Rettungsdienst“ in den letzten 20 Jahren in Operations-Research-orientierten Journalen erfolgten, und da wiederum die meisten (jeweils vier) im „*European Journal of Operational Research*“ ([3], [23], [33] und [42]) und im „*Journal of the Operational Research Society*“ ([1], [14], [20] und [24]). Zehn Papers wurden in medizinisch orientierten Journalen publiziert und sieben Modelle auf Konferenzen vorgestellt, wobei sich hier mit fünf Arbeiten ([2], [9], [19], [27] und [43]) die „*Winter Simulation Conference*“ scheinbar besonders gut dafür eignet.

Die anderen Publikationen verteilen sich relativ gleichmäßig auf Bücher sowie gesundheits-ökonomisch-orientierte, sicherheits-orientierte, technisch-orientierte, transport-orientierte und wirtschaftlich-orientierte Journale. Das zeigt, dass das Thema „Simulationen im Rettungsdienst“ keinem der großen klassischen Fachgebiete eindeutig zugeordnet, sondern vielmehr in verschiedene eingeordnet werden kann.

Der Rettungsdienst bei einem Massenanfall von Verletzten – ein Simulationsmodell in AnyLogic

Veröffentlichungsmedium	[2]														
	[9]	[6]	[7]	[8]	[13]	[21]	[25]	[28]	[30]	[31]	[35]	[36]	[37]	[40]	
	[19]	[34]								[38]					
	[27]														
	[43]														
Bücher															
<i>Operations research and health care</i>						X									
Gesundheitsökonomisch orientierte Journale															
<i>Health Care Management Science</i>		X													
Konferenzen															
<i>European Conference on Modelling and Simulation</i>									X						
<i>Symposium on Computer Applications in Medical Care</i>				X											
<i>Winter Simulation Conference</i>	X														
Medizinisch orientierte Journale															
<i>Air Medical Journal</i>													X	X	
<i>Annals of Emergency Medicine</i>														X	
<i>Computer Methods and Programs in Biomedicine</i>							X								
<i>Disaster Medicine and Public Health Preparedness</i>												X			
<i>Journal of Medical Systems</i>			X												
<i>Journal of the Society for Health Systems</i>											X				
<i>Notfall + Rettungsmedizin</i>					X										
<i>Prehospital and Disaster Medicine</i>								X							
<i>The American Journal of Emergency Medicine</i>										X					

Tabelle 16: Veröffentlichungsmedium, Teil 1 (Quelle: eigene Darstellung)

Der Rettungsdienst bei einem Massenanfall von Verletzten – ein Simulationsmodell in AnyLogic

Veröffentlichungsmedium	[1]	[3]								[16]		[18]				
	[14]	[23]	[4]	[5]	[10]	[11]	[12]	[15]	[26]	[17]	[29]	[22]	[32]	[39]	[41]	
OR-orientierte Journale																
<i>Annals of Operations Research</i>													X			
<i>Computers & Operations Research</i>														X		
<i>European Journal of Operational Research</i>		X														
<i>INFOR</i>					X											
<i>Journal of the Operational Research Society</i>	X															
<i>Operations Research</i>										X						
Sicherheits-orientierte Journale																
<i>Disasters</i>						X										
<i>Safety Science</i>							X									
Technisch-orientierte Journale																
<i>Cybernetics & Systems Analysis</i>			X													
<i>IIE Transactions</i>											X					
<i>International Journal of Medical Informatics</i>														X		
<i>Parallel Computing</i>								X								
Transport-orientierte Journale																
<i>Transportation Research Part E</i>																X
Wirtschaftlich-orientierte Journale																
<i>Management Science</i>				X												
<i>Socio-Economic Planning Sciences</i>									X							

Tabelle 17: Veröffentlichungsmedium, Teil 2 (Quelle: eigene Darstellung)

Die in diesem Kapitel dargestellte Literaturübersicht zeichnet ein vielfältiges Bild der in den letzten 20 Jahren veröffentlichten Arbeiten zum Thema „Simulationen im Rettungsdienst“, welches zuletzt stark an Bedeutung gewonnen hat. Auffällig ist auch, dass dabei die meisten den Regelbetrieb analysieren und sich nur wenige mit den Ausnahmesituationen (insb. eines Massenanfalls von Verletzten) auseinandersetzen. Besonders in diesem Bereich, in dem auch das im Folgenden vorgestellte Simulationsmodell angesiedelt ist, ist daher noch enormes Forschungspotenzial vorhanden.

3 Das SanHiSt-Konzept

Das vorgehende Kapitel zeigt deutlich, dass die Thematik „Simulationen im Rettungsdienst“ in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen hat, aber dennoch enorm viel Potenzial für zukünftige Forschungsgebiete, insbesondere in den Ausnahmesituationen des Rettungsdienstes, hat. Genau in diesem Bereich ist das in den folgenden Kapiteln vorgestellte Simulationsmodell angesiedelt.

Dieses Kapitel erläutert kurz die theoretischen Hintergründe und das Konzept an sich, welches bei einem Massenanfall von Verletzten durch den Rettungsdienst in Mitteleuropa angewendet wird.

3.1 Unterschiedliche Rettungssysteme

In der Theorie gibt es als Extremvarianten zwei unterschiedliche Konzepte zur Versorgung von Notfallpatienten (Ziegenfuß, 2007, S. 12):

- „Stay and stabilize“
- „Scoop and run“

„Scoop and run“ (manchmal auch als „load and go“ bezeichnet) favorisiert den möglichst schnellen Transport des Patienten in ein Krankenhaus. Nur Maßnahmen, die unbedingt ohne Zeitverzögerung notwendig sind (bspw. Reanimation oder Beatmung), werden vor und während des Transportes durchgeführt. Oberste Maxime dieses Konzepts ist es, die Zeit bis zum Beginn des Transportes („Time on Scene“) möglichst kurz zu halten. Angewendet und propagiert wird es vor allem im angelsächsischen Raum und in Israel, wo die Notfallversorgung primär nicht durch Ärzte, sondern durch Paramedics (speziell ausgebildete Sanitäter) durchgeführt wird (Ziegenfuß, 2007, S. 12f).

Das Gegenkonzept dazu, „stay and stabilize“ (auch als „stay and play“ bezeichnet), verfolgt hingegen die weitestmögliche Stabilisierung der Patienten noch am Ort des Notfallgesche-

hens und erst danach den Transport in ein Krankenhaus, wobei auch eine längere „Time on Scene“ durchaus in Kauf genommen wird (Ziegenfuß, 2007, S. 12f).

In den meisten west- und mitteleuropäischen Ländern, die über ein flächendeckendes Notarztsystem verfügen, wird im Großen und Ganzen „stay and stabilize“ praktiziert. Zu den noch am Notfallort durchgeführten Stabilisierungsmaßnahmen zählen insbesondere Atemwegssicherung, Beatmung, Kreislauftherapie, Analgesierung (Schmerztherapie) und Sedierung (Beruhigung und Narkose). Dennoch hat sich auch hier bereits die Ansicht durchgesetzt, dass mache Notfallpatienten (speziell solche mit starken, unstillbaren Blutungen und penetrierenden Verletzungen von Thorax und Abdomen) von einem möglichst raschen Transport in ein Krankenhaus mehr profitieren als von einer ineffizienten Notfallversorgung vor Ort (Ziegenfuß, 2007, S. 13).

In der wissenschaftlichen Literatur gibt es nach wie vor heftige Diskussionen und unterschiedlichste Studien, welches Rettungssystem ein für die Patienten nachhaltig besseres Ergebnis bringt, wobei hier auch wiederum nach der Art des Notfalles (Intern vs. Trauma) und der untersuchten Region (städtisch vs. ländlich) unterschieden werden muss (siehe dazu bspw. Haas & Nathens, 2008, Smith & Conn, 2009 und Rossi, 1997).

Diese grundlegend unterschiedlichen Rettungssysteme bzw. Konzepte spiegeln sich auch bei der Abwicklung von Großschadensereignissen wieder. So beschäftigen sich die Planung für solche Ereignisse und damit auch die wissenschaftlichen Arbeiten und die dazugehörigen Simulationen im angelsächsischen Raum eher mit der Zuteilung und Koordination von Rettungsfahrzeugen (siehe bspw. [7], [18], [25], [26] und [41] aus der Literaturübersicht), während im europäischen Raum dem Ablauf und der Patientenversorgung direkt vor Ort mehr Beachtung geschenkt wird (siehe das hier vorgestellte Modell oder auch bspw. Vemmer, 2003).

3.2 Großunfälle und Katastrophen

Im Regelfall ist der Rettungsdienst mit einzeln oder mit einer geringer Zahl auf einmal auftretenden Patienten konfrontiert. Doch es gibt auch Ereignisse, die zu einem zeitgleichen, plötzlichen Anfall von sehr vielen Patienten an einem Ort führen. Diese Ereignisse werden meist als Großunfall oder Katastrophe bezeichnet, was im Folgenden näher definiert und unterschieden werden soll:

Ein Großunfall liegt dann vor, wenn (Österreichisches Rotes Kreuz, 2007, S. 5):

- das Ereignis mit den örtlichen personellen und materiellen Mitteln nicht bewältigt werden kann, aber
- keine Katastrophensituation vorliegt.

Eine Katastrophe ist hingegen dann, wenn (Pfeiler, 2008):

- das Ereignis mit den örtlichen personellen und materiellen Mitteln nicht bewältigt werden kann und
- der Katastrophenzustand ausgerufen wird.
- Meist sind dabei auch größere Teile der Infrastruktur zerstört.

Der Unterschied zwischen einem Großunfall und einer Katastrophe liegt also (neben der zerstörten Infrastruktur) primär in der Ausrufung des Katastrophenzustandes. Diese erfolgt in Österreich – je nach betroffenem Gebiet – durch den Bürgermeister (für eine Gemeinde), den Landeshauptmann (für ein Bundesland) oder den Innenminister (für das gesamte Bundesgebiet) (Pfeiler, 2008).

Für die praktische Arbeit des Rettungsdienstes spielt die Unterscheidung kaum eine Rolle. Vielmehr werden beide Situationen, aber auch solche, wo kein Unfall die Ursache war (bspw. eine Massen-Lebensmittelvergiftung), unter dem Begriff „Massenanfall von Verletzten“ (MANV) zusammengefasst und mit dem hier vorgestellten Konzept begegnet.

Insbesondere in der Anfangsphase eines solchen Ereignisses wird statt der sonst üblichen Individualmedizin, bei der die bedarfsgerechte Versorgung jedes Patienten im Vordergrund

steht, auf die Grundzüge der Katastrophenmedizin zurückgegriffen. Diese ist dadurch gekennzeichnet, dass einer Vielzahl von hilfsbedürftigen Menschen nur wenige Helfer mit oft unzureichenden Mitteln gegenüberstehen. Oberstes Ziel ist es dabei, so viele Leben wie möglich zu retten. Dabei wird bewusst auf die zeit- und personalintensive Maximalversorgung des Einzelnen zugunsten der lebensrettenden Minimalversorgung vieler Patienten verzichtet (Pfeiler, 2008).

Ebenso wichtig ist es, das anfängliche Chaos vor Ort des Großschadensereignisses in den Griff zu bekommen und somit den Großunfall nicht durch unkoordinierte Spontanabtransporte einfach in die nächsten Krankenhäuser zu verlagern. Durch das Verhindern der ungleichen Belastung bzw. Überlastung der Spitäler, deren Aufnahmekapazitäten von Schwerverletzten allgemein überschätzt wird, kann deren ständige Arbeitsfähigkeit gewährleistet werden (Rotes Kreuz Niederösterreich, 2005, S. 7).

Um diese Art der Versorgung im Ernstfall vor Ort zu gewährleisten, bietet das Konzept der Sanitätshilfsstelle (SanHiSt) ein für alle beteiligten Einsatzorganisationen österreichweit gültiges Organisationsschema, welches in den folgenden Abschnitten vorgestellt wird (Rotes Kreuz Niederösterreich, 2005, S. 3). Aber auch die anderen europäischen Länder mit einem vergleichbaren Rettungssystem verwenden sehr ähnliche Konzepte, um mit einem Massenanfall von Verletzten umzugehen. In Deutschland wird dieses bspw. unter dem Begriff „Behandlungsplatz“ (BHP) geführt, welches sich aber inhaltlich und funktionell kaum vom SanHiSt-Konzept unterscheidet (Adams, 2006).

3.3 Aufbau einer Sanitätshilfsstelle

Im Folgenden wird kurz der voll ausgebaute Schadensraum im „Normalfall“ bei einem Großschadensereignis und damit auch der Aufbau und das funktionelle Umfeld der Sanitätshilfsstelle (SanHiSt) beschrieben.

Der Schadensraum ist das Gebiet innerhalb der inneren Absperrung und umfasst (Rotes Kreuz Niederösterreich, 2005, S. 7):

- Sanitätshilfsstelle (SanHiSt)
- Sammelstelle Unverletzte (SaSt.U)
- Sammelstelle Tote (SaSt.T)
- Informationszentrum/-stelle (i)
- Einsatzleitung (EL)
- Mobile Leitstelle (MLS)
- Schadensplatz/-plätze

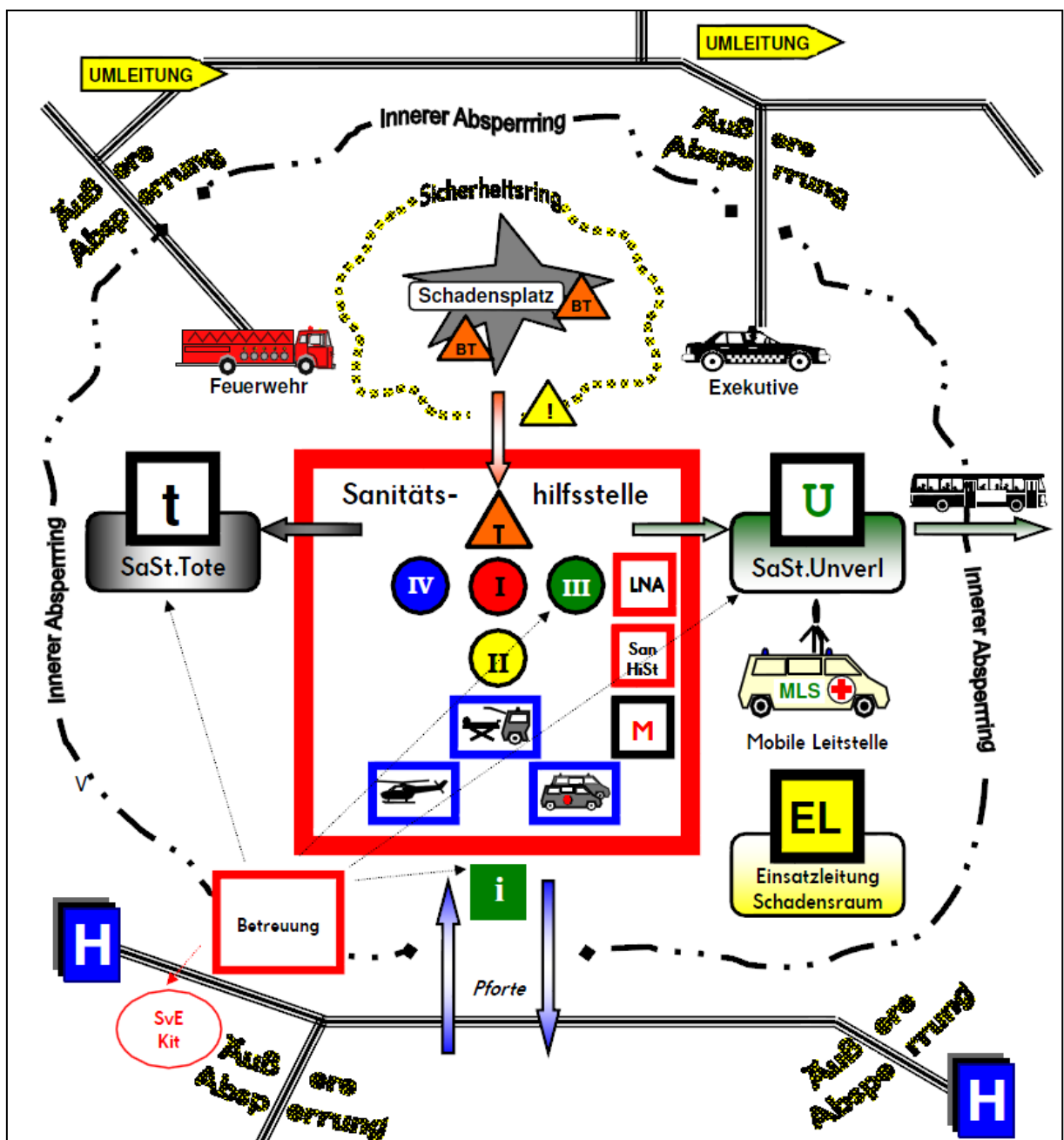


Abbildung 1: Organisation im Schadensraum (Quelle: Rotes Kreuz Niederösterreich, 2005, S. 8)

Der Schadensplatz ist die eigentliche Fläche des Großschadensereignisses und kann bei Bedarf durch einen Sicherheitsring abgegrenzt werden (siehe Abbildung 1). Der Einsatzleiter der Feuerwehr kann dieses Gebiet zur Gefahrenzone erklären, wenn (bspw. durch Brand oder Chemikalien) eine Gefahr für die Einsatzkräfte besteht. In diesem Fall werden Verletztenablagen am Sicherheitsring festgelegt, wo die Patienten durch den Sanitätsdienst von der Feuerwehr übernommen werden und nach Möglichkeit sofort triagiert werden (Hansak et al., 2003, S. 601f).

Der äußere Absperring wird durch die Exekutive errichtet und soll den Verkehr großräumig umleiten, während der innere Absperring eine möglichst dichte Absperrung ist, die einerseits Schaulustige fern- und in Panik geratene Personen zurückhalten soll. Um eine koordinierte Zu- und Abfahrt der Einsatzfahrzeuge bei gleichzeitigem Fernhalten von Fremdfahrzeugen zu gewährleisten, sollte nur eine einzige Ein- und Ausfahrtsmöglichkeit („Pforte“) vorhanden sein (Rotes Kreuz Niederösterreich, 2005, S. 7).

Um eine Sanitätshilfsstelle einzurichten, sollte nach Möglichkeit auf die am Unfallort vorhandene Infrastruktur, bspw. Gasthäuser oder Garagen, zurückgegriffen werden. Ist dies nicht möglich, so müssen, insbesondere bei schlechter Witterung, Zelte aufgestellt werden (Hansak et al., 2003, S. 602).

Eine SanHiSt umfasst immer folgende Räume (Hansak et al., 2003, S. 602f):

- **Triageraum**
Ein oder mehrere Räume, in denen Patienten in verschiedene Dringlichkeitsstufen eingeteilt werden (siehe Abschnitt 3.4)
- **Behandlungsraum**
Er unterteilt sich in mehrere Bereiche (für jede Triagegruppe einen), was je nach lokaler Möglichkeit zu gestalten ist (bspw. verschiedene Zelte oder Räume, oder auch nur ein entsprechender Abstand zwischen den Bereichen).
- **Transportraum**
Dazu gehören die Verladestelle für Rettungsfahrzeuge, der Lande- und Verladeplatz für die Rettungshubschrauber und der KFZ-Sammelplatz für die im Moment nicht benötigten Fahrzeuge.

- **Material- und Meldestelle**

Alle eintreffenden Wagenbesatzungen melden sich hier mit ihrem Material, werden registriert und eingeteilt.

Der hier gezeigte Aufbau einer SanHiSt entspricht dem theoretischen „Normalfall“. Besondere Situationen, bspw. voneinander entfernt liegende Schadensplätze oder verschiedene Zugänge zum Schadensplatz ohne Verbindung, oder besondere Voraussetzungen (wie z.B. ein Chemieunfall, der die Errichtung und den Betrieb einer Dekontaminationsstelle erfordert) führen selbstverständlich zu einer Anpassung der Organisation und der Struktur (Rotes Kreuz Niederösterreich, 2005, S. 7).

3.4 Triage und Triagegruppen

Um bei einem Massenanfall von Verletzten möglichst effektiv medizinische Hilfe leisten zu können, werden die Patienten entsprechend ihrem Verletzungsgrad in verschiedene Gruppen eingeteilt. Ziel ist es, die Behandlung vor Ort und Stelle unter Berücksichtigung aller zur Verfügung stehenden Ressourcen an Personal und Material im Sinne aller Verletzten zu optimieren und so die höchstmögliche Überlebensrate für die Opfer zu erreichen. Dieser Vorgang steht unter dem Motto „Das Bestmögliche zum richtigen Zeitpunkt für die größte Anzahl“ (Hansak et al., 2003, S. 606f).

Tabelle 18 zeigt einen Überblick über die genormten Behandlungs- bzw. Triagegruppen, welche aber wiederum an die aktuellen Gegebenheiten angepasst werden können. Insbesondere wird nach Möglichkeit (bei geringerer Anzahl an Schwerstverletzten und genügend Ressourcen) die Behandlungsgruppe IV (abwartende Behandlung) weggelassen und diese Patienten entweder auf I oder II behandelt (Hansak et al., 2003, S. 608).

Die Behandlungsgruppe II war früher offiziell in die Untergruppen IIa (Transportpriorität) und IIb (Transport ohne Dringlichkeit) unterteilt. Diese Unterscheidung ist in den der letzten Fassung der Großunfall-Vorschriften nicht mehr vorhanden, dennoch werden intern die Transportprioritäten A und B vergeben (Österreichisches Rotes Kreuz, 2007, S. 12), was zu einem

ähnlichen Ergebnis führt. Aus diesem Grund wird hier (insbesondere bei der Simulation) weiterhin zwischen den Behandlungsgruppen IIa und IIb unterschieden.

Behandlungsgruppe	Farbe	Name	Beschreibung
I	rot	Sofortbehandlung	Patienten mit akuter vitaler Bedrohung können hier Noteingriffen unterzogen werden
II	gelb	Transportpriorität bzw. dringende Behandlung	Hier erfolgt die Behandlung und Herstellung der Transportfähigkeit von schwer verletzten bzw. erkrankten Personen.
III	grün	Spätere (ambulante) Behandlung bzw. Leichtverletzte	Leicht verletzte, bewussteinklare Patienten
IV	blau	Betreuende (abwartende) Behandlung	Ist für Patienten vorgesehen, deren Abtransport aus medizinischen Gründen einstweilen zurückzustellen ist, weil sie eine geringe Überlebenschance haben bzw. den Transport vermutlich nicht überleben würden.

Tabelle 18: Behandlungsgruppen (Quelle: eigene Darstellung nach Hansak et al., 2003, S. 606ff und Österreichisches Rotes Kreuz, 2007, S. 9)

Um die Unterscheidung der Patienten nach den Verletzungsgraden zu verdeutlichen, zeigt Tabelle 19 einen Überblick über Patienten und Maßnahmen je Triagegruppe.

Die erste Einteilung der Patienten erfolgt in der Bergetriage, die optional durchgeführt werden kann (je nach Situation). Dabei teilt ein Trupp, bestehend aus einem Arzt und zwei Sanitätern, die Patienten noch direkt am Schadensplatz in die Gruppen dringend, nicht dringend und Tote ein. Dies dient den Bergemannschaften (üblicherweise von der Feuerwehr gestellt) zur Orientierung, welche Patienten nach Möglichkeit zuerst zu bergen sind. Dazu wird dem Verletzten ein Tasche (die sogenannte Patientenleitsystem- (PLS-)Tasche, siehe Abbildung 2) umgehängt und darauf bei Bedarf die darin enthaltenen Karten „Dringend“ oder „Verstorben“ befestigt (Riener, 2007).

I - Sofortbehandlung	
Patienten mit	Maßnahmen
<ul style="list-style-type: none"> • Atemstörungen (Verletzung/Verlegung) • Spannungspneumothorax • Schwere äußere Blutungen • Schwerer traumatischer Schock 	<ul style="list-style-type: none"> • Noteingriffe • Volumenersatz • Intubation • Tracheo-/Koniotomie • Thoraxdrainage
II – Transportpriorität / Dringende Behandlung	
Patienten mit	Maßnahmen
<ul style="list-style-type: none"> • Schädel-Hirn-Trauma • Wirbelverletzung mit Lähmungen • Thoraxverletzungen • Bauchtrauma, innere Blutungen • Große Gefäßverletzungen • Offene Knochenbrüche 	<ul style="list-style-type: none"> • Verbände • Schockbehandlung • Fixierung, Schienen • Schmerzbekämpfung • Pflegerische Maßnahmen • Lebensrettende Sofortmaßnahmen, wenn nötig
III – Spätere (ambulante Behandlung) / Leichtverletzte	
Patienten mit	Maßnahmen
<ul style="list-style-type: none"> • Verbrennungen bis 15 % • Kleine Weichteilwunden • Einfache Knochenbrüche • Prellungen, Zerrungen • Leichtes Schädel-Hirn-Trauma 	<ul style="list-style-type: none"> • Pflegerische Maßnahmen • Betreuung • Bei ambulanter Entlassung zur SaSt.U
IV – Betreuende (abwartende) Behandlung	
Patienten mit	Maßnahmen
<ul style="list-style-type: none"> • Schwere Polytraumen • Schwerste Schädel-Hirn-Traumen • Offene Körperhöhlentraumen • Mehrhöhlenverletzungen • Schwere Verletzungen des zentralen Nervensystems • Hohe Querschnittlähmungen • Verbrennungen über 50 % 	<ul style="list-style-type: none"> • Behandlung (Schmerzbekämpfung) • Überwachung • Betreuung

Tabelle 19: Patienten und Maßnahmen nach Triagegruppen (Quelle: Pfeiler, 2008)

Die Einteilung der Patienten in die verschiedenen Behandlungsgruppen selbst erfolgt bei der Triage. Dabei wird der Patient in einer möglichst kurzen Zeit (maximal 3 Minuten für einen liegenden Patienten) untersucht und von einem Arzt der entsprechenden Triagegruppe zugewiesen. Diese wird neben der Grobdiagnose auf der PLS-Tasche angekreuzt bzw. eingetragen und ist damit für das weitere Behandlungspersonal gut sichtbar (Pfeiler, 2008).

Das Diagramm zeigt eine PLS-Tasche (Patienten- und Lebenszeichen-Tasche) mit folgenden Feldern:

- DIAGNOSE:** Bewußtsein (ok), Atmung (ok), Kreislauf (ok). Ein Feld für die Patientennummer (Pat. Nr.) ist ebenfalls vorhanden.
- TRIASSE:** Zwei Spalten für Therapie (I, IIa, IIb) und Warten (III, IV). Ein Feld für die Transportpriorität (I, IIa, IIb, III, IV) ist ebenfalls vorhanden. Ein Feld für den Arzt (Arzt (Dienstnr.)) ist ebenfalls vorhanden.
- TRIASSE:** Ein Feld für den Namen (Name:).
- TRIASSE:** Ein Feld für den Abriß für Zielspital (Abriß für Zielspital) mit einem Feld für die Patientennummer (Pat. Nr.).
- TRIASSE:** Ein Feld für den Abtransport (vor Abtransport abgeben!) mit einem Feld für die Patientennummer (Pat. Nr.) und einem Feld für die Kfz-Nr. (Kfz-Nr.).

Abbildung 2: PLS-Tasche (Quelle: Pfeiler, 2008)

3.5 Der Ablauf bei einem Massenanstfall von Verletzten

Große Bedeutung für die Abwicklung eines Großunfalls kommt der Besetzung des ersteintreffenden Rettungsfahrzeugs zu. Dem Transportführer obliegt die vorläufige Einsatzleitung

(bis er eventuell von einem Spezialisten abgelöst wird), er teilt die weiter eintreffenden Kräfte ein und legt den Ort der Behandlungsräume fest. Der Fahrer kümmert sich in der Zwischenzeit um die Festlegung eines geeigneten Wagenhaltplatzes und die Etablierung eines Einbahnsystems (Zu- und Abfahrten) für die Fahrzeuge. Die wichtigste Aufgabe des ersteintreffenden Fahrzeuges ist allerdings, sich einen Überblick über die Schadenslage und die Verletzten zu verschaffen und der Leitstelle eine qualifizierte Lagemeldung zu erstatten (Pfeiler, 2008).

Der ersteintreffende Notarzt (mit Team) legt die Triagestelle(n) fest, baut diese auf und beginnt mit der Triage der bis zu diesem Zeitpunkt angefallenen Patienten (üblicherweise eher leichtverletzte, gehfähige Personen). Der nächste Notarzt etabliert gemeinsam mit zwei Sanitätern die Bergetriage, sofern diese notwendig und gewünscht ist (Rotes Kreuz Niederösterreich, 2005, S. 21ff).

Der nächste Schritt der weiteren Kräfte ist der Aufbau der Behandlungsstelle I (Sofortbehandlung). Hierzu kann vorerst das Sanitätsmaterial der Sonderrettungsmittel (NAW/NEF/NAH) verwendet werden, sofern ein geeigneter Ort für die Unterbringung der Behandlungsstelle bereits zur Verfügung steht. Spätestens jetzt ist eine geordnete Material- und Meldestelle zu etablieren, um die weitere Personal- und Materialversorgung der SanHiSt gewährleisten zu können. Je nach Patientenfluss, Personalstand, Gefahrenlage und Unterstützung durch der Feuerwehr kann auch mit der Bergung der Patienten begonnen werden (Rotes Kreuz Niederösterreich, 2005, S. 24f).

Für den weiteren Aufbau der SanHiSt ist man in der Regel auf das Eintreffen des ersten Großunfallsets (GUS) angewiesen. Dabei handelt es sich um eine genormte, mobile Materialzusammenstellung, die die Versorgung von 50 Patienten (davon 15 Schwerstverletzte) an Ort und Stelle (bei Bedarf inklusive Zelte, Beleuchtung und Beheizung) ermöglicht. Diese Sets werden üblicherweise in Form von speziellen Anhängern oder LKW in den Bezirksstellen der Rettungsorganisation bereit gehalten (Rotes Kreuz Niederösterreich, 2005, S. 39ff).

Mit diesem Material, dem entsprechend geschulten Personal und eventuellen Zusatzmaterialien aus den Rettungsfahrzeugen ist es möglich, innerhalb kurzer Zeit eine vollständige

SanHiSt zu errichten und zu betreiben. Bei einer größeren Anzahl an Verletzten und der zeitnahen Verfügbarkeit weiterer GUS werden nach Möglichkeit nicht mehrere SanHiSts errichtet, sondern die bestehende erweitert.

Der optimale Weg des Patienten durch die SanHiSt sieht wie folgt aus (Pfeiler, 2008):

1. Kennzeichnung der Dringlichkeit durch die Bergetriage
2. Bergung und Transport zur Triage
3. Triage
4. Behandlung: Herstellung der Transportfähigkeit
5. Triage für den Transport (Dringlichkeit und Zielspital)
6. Abtransport

Hierzu ist noch anzumerken, dass es auch zu Verlegungen der Patienten zwischen den einzelnen Behandlungsstellen kommt, da der Abtransport sowohl aus Gründen der Koordination als auch wegen der idealerweise räumlichen Nähe zum Verladeplatz nur aus der Behandlungsstelle II erfolgt.

Nach der Behandlung in der Triagestelle I werden die Patienten sofort in die Triagestelle II verlegt, um den (je nach Dringlichkeit) raschen Abtransport zu gewährleisten. Patienten der Behandlungsgruppe IV werden, sobald die entsprechenden Kapazitäten verfügbar sind, in die Behandlungsstelle I (und danach weiter nach II) verlegt, um auch ihnen eine möglichst effektive medizinische Behandlung zukommen lassen zu können. Nach dem Abtransport der Patienten aus IIb (der wiederum erfolgt, wenn alle Verletzten aus IIa abtransportiert wurden bzw. genügend Transportkapazitäten zur Verfügung stehen), werden die Patienten aus der Triagestelle III nach IIb verlegt und in ein Krankenhaus abtransportiert (Pfeiler, 2008).

Der hier vorgestellte Ablauf ist die vorschriftsmäßige Idealvorstellung einer Sanitätshilfsstelle, der in der praktischen Anwendung je nach Situation entsprechender Anpassungen bedarf. Dennoch ist es das allgemein gelehrt und verwendete Universalmodell, welches auch durch die im nächsten Kapitel beschriebene Simulation dargestellt wird.

4 Die Simulation

Den Kern dieser Magisterarbeit bildet die Umsetzung des im vorherigen Kapitel vorgestellten SanHiSt-Konzepts in eine Discrete Event Simulation in AnyLogic, was in den folgenden Abschnitten näher erläutert wird. Dazu folgt zuerst eine kurze Einführung in das dazu verwendete Programm, gefolgt von einigen technischen Erläuterungen mit abschließenden Erklärungen zur Verwendung.

4.1 Grundlagen von AnyLogic

AnyLogic ist eine Software der Firma „XJ Technologies“¹, die es dem Nutzer mit einer graphischen Modellierungssprache, die durch JAVA-Code erweitert werden kann, ermöglicht, verschiedene Arten von Simulationen zu erstellen. Diese können anschließend als eigenständige JAVA-Applikationen exportiert werden und sind somit im Web-Browser auf jedem Computer lauffähig.

Für die Modellierung des SanHiSt-Konzepts wurde die Technik der Discrete Event Simulation (DES) gewählt. Diese zeichnet sich dadurch aus, dass der Status des Systems nur an bestimmten Zeitpunkten (discrete events) und nicht ständig mit der Zeit geändert bzw. neu berechnet wird (Fishman, 2001, S. 5). Diese Zeitpunkte sind bspw. die Ankunft eines Patienten, der Abschluss einer Behandlung oder die Verlegung eines Patienten in einen anderen Raum.

Besonders im Gesundheitsbereich, in dem Simulationen häufig angewendet werden, ist die Discrete Event Simulation besonders beliebt. Sie ermöglicht, jedes Element einer Population (Entity) mit beliebig vielen Variablen darzustellen und so eine enorme Zahl an möglichen Verbindungen und Effekten nicht nur für die einzelnen Individuen, sondern auch für die Gesamtpopulation zu simulieren. Die simulierten Entscheidungen der einzelnen Entities können dabei entweder durch die Charakteristik der Elemente und Ressourcen, vorangegangene

¹ Nähere Informationen zu diesem Unternehmen unter <http://www.xjtek.com>

Bewegungen durch das Modell oder die Entscheidungen anderer Entities beeinflusst werden, oder aber sie werden – in einem stochastischen System – durch Sampling bestimmter Wahrscheinlichkeitsverteilungen bestimmt. Durch die Simulation von Individuen sind DES daher verständlicher, stellen die Wirklichkeit besser als andere Techniken (bspw. Monte Carlo Simulationen) dar und eignen sich besonders für die Modellierung kleinerer Populationen (Fone, et al., 2003, S. 325f).

In AnyLogic werden zur Erstellung von Discrete Event Simulationen primär mit Hilfe einer grafischen Oberfläche Prozesse modelliert. Dazu verbindet man verschiedene Symbole (Objekte) mit unterschiedlichen Bedeutungen (siehe Tabelle 20) und verschiedenen Einstellungen miteinander und ordnet diese in der gewünschten Reihenfolge an. Zusätzlich kann über JAVA an jeder Stelle direkt in den Simulationsprozess eingegriffen und dadurch die Funktionalität des Modells erweitert werden.







Symbol	Name	Beschreibung
	Source	Erzeugt entities.
	Sink	Entsorgt entities.
	Hold	Blockiert den Prozess / hält die entities an.
	Delay	Verzögert die entity um die angegebene Zeit (wird insb. zur Darstellung von Service-Zeiten verwendet).
	Queue	Speichert die entities in einer bestimmten Reihenfolge.
	NetworkMoveTo	Bewegt ein entity vom derzeitigen Ort zu einem neuen.
	NetworkSeize	Nimmt eine oder mehrere bestimmte Ressource(n) in Besitz.
	NetworkRelease	Gibt eine (oder mehrere) zuvor in Besitz genommene Ressource(n) frei.
	NetworkSendTo	Sendet eine portable oder bewegliche Ressource an einen bestimmten Ort.

Tabelle 20: Wichtige DES-Elemente in AnyLogic (Quelle: eigene Darstellung nach XJ Technologies, 2008)

Die Netzwerk-basierte Modellierung in der Discrete Event Simulation, die auch in dem hier vorgestellten Modell verwendet wurde, ermöglicht die Bindung der Prozesse an eine bestimmte physikalische Umgebung (bspw. ein Krankenhaus) inklusive der Bewegung der entities und Ressourcen. Dadurch werden nicht nur Weglängen- oder Raumnutzungs-Berechnungen, sondern auch gleichzeitig eine ansprechende und User-freundlich Animation ermöglicht (XJ Technologies, 2008).

4.2 Funktionsweise der Simulation

Die Simulation der Sanitätshilfsstelle besteht aus mehreren, unabhängigen Prozessen sowie einigen zusätzlichen, unterstützenden Funktionen. Der Hauptprozess, auch Patientenprozess genannt, wird im folgenden Abschnitt näher erläutert, während die wichtigsten Nebenprozesse in Abschnitt 4.2.2 dargestellt werden. Auf die detaillierte Beschreibung der einzelnen Modell-Elemente sowie der unterstützenden Funktionen wird aus Platzgründen vollständig verzichtet, statt dessen werden das in der Simulation verwendete Lebensenergie-Konzept sowie die Prioritätenregelungen erläutert.

4.2.1 Der Patientenprozess

Der modellierte Patientenprozess (siehe Abbildung 3 und Abbildung 4) bildet den Weg des Patienten während der gesamten Simulation ab, wobei auch alle etwaigen Verzweigungen berücksichtigt werden.

Zuerst erzeugen die „Source“-Objekte die Patienten-Entities, unterschieden nach Schwer- und Leichtverletzten. Alle nicht gehfähigen Patienten warten dann auf die Bergetriage (wenn sie durchgeführt wird) bzw. ihre Bergung, die entweder von Sanitätern oder der Feuerwehr (die in diesem Modell nicht simuliert wird) durchgeführt wird. Die Entities sammeln sich danach vor der Triage, um nach deren Durchführung auf die Behandlung zu warten.

Der Rettungsdienst bei einem Massenansturm von Verletzten – ein Simulationsmodell in AnyLogic

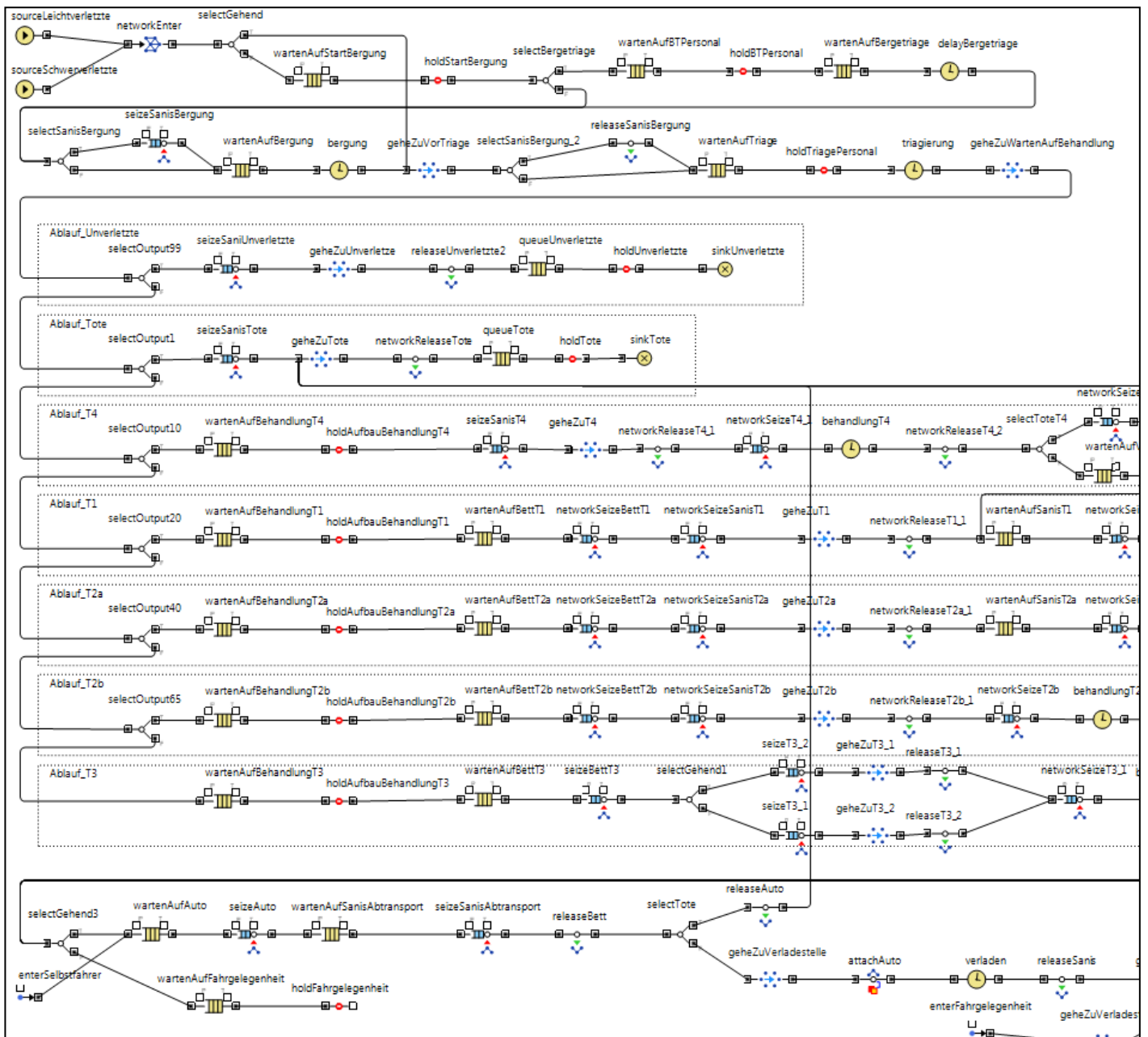


Abbildung 3: Patientenprozess, Teil 1 (Quelle: eigene Darstellung)

Nun spaltet sich der Prozessfluss auf und unterscheidet nach der zugewiesenen Triagegruppe. Unverletzte und tote Patienten werden von ein bzw. zwei Sanitätern zur entsprechenden Sammelstelle verbracht, während Entities mit den Triagegruppen I – IV zu den passenden Behandlungsstellen getragen werden, sobald diese fertig aufgebaut (einsatzbereit) sind.

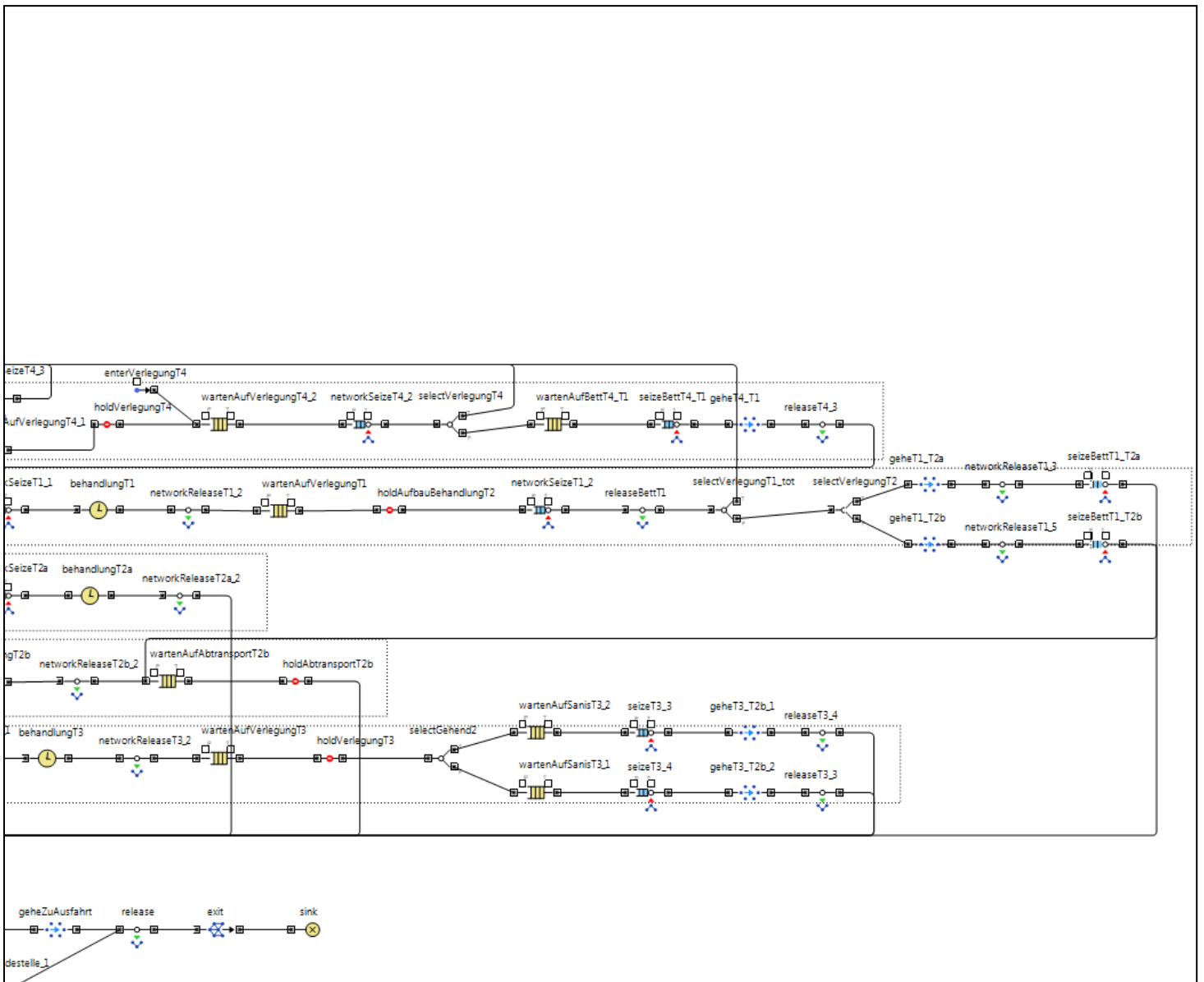


Abbildung 4: Patientenprozess, Teil 2 (Quelle: eigene Darstellung)

Dort werden sie von einem Behandlungstrupp (je nach Behandlungsstelle bestehend aus einem Sanitäter, einem Sanitäter und einem Arzt oder zwei Sanitätern und einem Arzt) versorgt und anschließend entweder, sobald ein Auto zur Verfügung steht, zur Verladestelle gebracht und abtransportiert oder in eine andere Behandlungsstelle verlegt (I nach IIa oder IIb, III nach IIb und IV nach I).

4.2.2 Hintergrundprozesse

Der im vorherigen Abschnitt erläuterte Patientenprozess in der Simulation bildet den Weg der Patienten durch die Sanitätshilfsstelle ab. Doch darüber hinaus erfordert eine derartige Organisation auch Prozesse, die unabhängig vom Patientenansturm abgewickelt werden müssen und deswegen eigenständig als „Hintergrundprozesse“ modelliert wurden. Desweiteren erfordert der technische Aufbau der Simulation die Auslagerung bestimmter Vorgänge in eigene Prozesse, um insbesondere die Wiederverwendbarkeit einzelner Simulationsteile zu steigern.

Die Entities in allen diesen Hintergrundprozessen sind keine Patienten, sondern lediglich imaginäre Platzhalter, die bspw. für die Reservierung von Ressourcen für bestimmte Patienten-fremde Aufgaben oder für das Abwarten von Zeitspannen eingesetzt werden.

Abbildung 5 zeigt diejenigen Hintergrundprozesse, die sich aus dem SanHiSt-Konzept ergeben, aber nicht direkt mit dem Patientenfluss verbunden sind. Dazu zählen die Bereitstellung der Führungskräfte, der Mannschaft für den Aufbau der SanHiSt sowie des Personals für die Triage und die Bergetriage und auch die Berücksichtigung der Verzögerung vom Eintritt des Großschadensereignisses bis zum Start der Bergung.

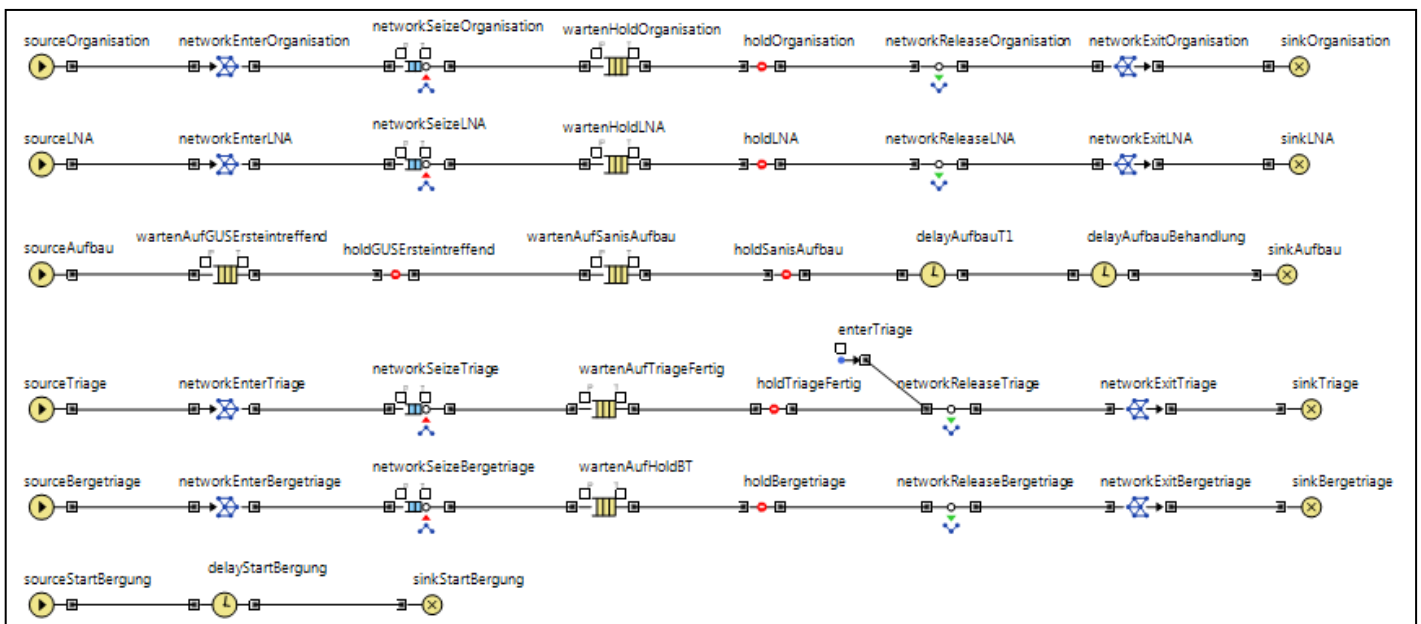


Abbildung 5: Hintergrundprozesse, Teil 1 (Quelle: eigene Darstellung)

Im Gegensatz dazu zeigt Abbildung 6 jene Prozesse, die aufgrund der Programmlogik und der Wiederverwendbarkeit in eigene Bestandteile ausgegliedert wurden. Einerseits sind dies die Prozesse, die das Eintreffen der Großunfallsets (GUS), der Sanitäter und der Ärzte – jeweils unterschieden nach den ersteintreffenden und den weiteren eintreffenden Kräften – eigens abbilden, um die unterschiedlichen Verteilungen der Eintrittswahrscheinlichkeiten nutzen zu können. Andererseits zeigt diese Abbildung auch jene Programm-Bestandteile, die die Entsendung der Sanitäter und Ärzte von der Meldestelle in die Behandlungsstellen und deren Rückkehr regelt, die aber jeweils durch externe Programmaufrufe gestartet werden.

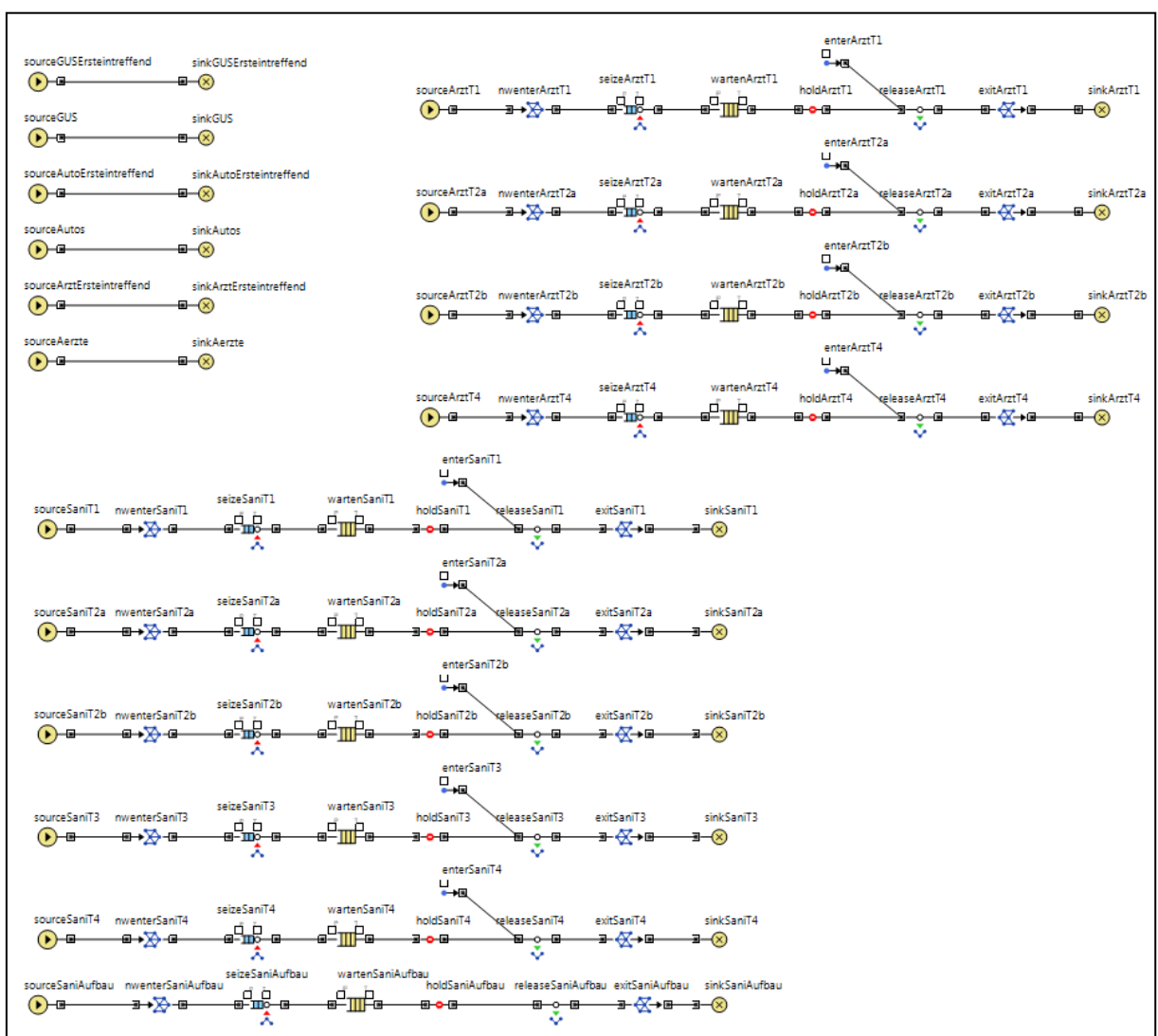


Abbildung 6: Hintergrundprozesse, Teil 2 (Quelle: eigene Darstellung)

4.2.3 Lebensenergie

Einer der wichtigsten Aspekte einer derartigen Simulation ist die Frage nach dem Gesundheitszustand des Patienten. Da die Antwort in der Realität oft sehr komplex ist, muss sie hilfsweise, für den Computer verständlich, vereinfacht werden, wozu es verschiedenste Möglichkeiten gibt.

Da sich die Simulation des SanHiSt-Konzepts eher auf organisatorische als auf spezielle medizinische Faktoren konzentriert, reicht für die Darstellung der Patientengesundheit ein einzelner Wert, welcher hier als „Lebensenergie“ (LE) bezeichnet wurde. Ist dieser Wert kleiner als 1, so ist der Patient klinisch tot, bei einem Wert größer als 99 ist er unverletzt. Der Bereich dazwischen bietet somit die Möglichkeit, die verschiedensten Verletzungen „darzustellen“.

Diese vereinfachte Art der Berechnung des Gesundheitszustandes wird in vergleichbaren Simulationen gerne verwendet, bspw. in [28] (wo dieser Wert allerdings die Morbidität widerspiegelt) oder auch in [36] (welches dem hier vorgestellten Lebensenergie-Konzept sehr ähnlich ist).

Bei der Erzeugung der Entities (Patienten) wird ihnen per Zufallsgenerator ein Wert für ihre Lebensenergie zugewiesen (für alle exakten Daten und Verteilungen siehe Kapitel 5). Bei Schwerverletzten wird dann bei der Triage, um die Auswirkungen der Wartezeit darzustellen, ein zeitabhängiger Zufallswert abgezogen. Anschließend werden alle Patienten entsprechend ihrer Lebensenergie der passenden Behandlungsstelle zugewiesen (sie werden triagiert).

Die darauf folgende Wartezeit bis zur Behandlung schlägt sich ebenso negativ auf die Lebensenergie der Schwerverletzten nieder. Während der Behandlung durch Ärzte und Sanitäter erhöht sich dieser Wert wieder, um dann durch das Warten auf den Abtransport oder die Verlegung wieder reduziert zu werden.

Damit ermöglicht das Lebensenergie-Konzept nicht nur die Zuteilung der Patienten zu den verschiedenen Behandlungsgruppen, sondern auch die möglichst realitätsnahe Darstellung der Auswirkungen von Wartezeiten und Behandlungen. Dies erlaubt die Realisierung eines dynamischeren Patientenflusses in der Simulation bis hin zur Aussortierung von Todesfällen an den verschiedensten Stellen des Prozesses.

4.2.4 Ressourcenmanagement

Ressourcen in Discrete Event Simulationen sind Hilfsobjekte, die von den Entities in Besitz genommen und wieder abgegeben, versendet und an ein Entity angeheftet werden können (XJ Technologies, 2008). Da die Patienten in dieser Simulation als Entities und somit als „Hauptfiguren“ modelliert wurden, sind Sanitäter, Ärzte, Autos etc. Ressourcen, was auch Vorteile im Hinblick auf die statistischen Auswertungen (insb. die Auslastung) bringt.

Die hier vorgestellte SanHiSt-Simulation beinhaltet vier verschiedene Arten von Ressourcen:

- Sanitäter
- Ärzte
- Autos
- Betten

Ärzte und Sanitäter treffen unabhängig voneinander in der SanHiSt ein und warten in der Meldestelle auf ihre Anforderung. Von dort werden sie mit Hilfe der oben gezeigten Nebenprozesse zur Einsatzleitung, Triage, Bergetriage, dem Aufbau oder dem Tragen von Patienten eingeteilt oder aber einer Behandlungsstelle zugewiesen. Diese Zuweisung wird durch die Anzahl der Patienten pro Stelle gesteuert und erfolgt durch eine Verlegung der Ressource in einen anderen Ressourcenpool (jede Behandlungsstelle hat einen eigenen Ressourcenpool jeweils für ihre Ärzte und ihre Sanitäter). Von diesem Pool fordern schließlich die Entities (Patienten) die für ihre Behandlung benötigten Ressource (Ärzte und Sanitäter) an. Dieses Vorgehen ist erforderlich, um ein ständiges, unrealistisches Wechseln von Ärzten und Sanitätern zwischen den Behandlungsstellen zu vermeiden.

Die Rettungswagen mit jeweils zwei Sanitätern treffen, gesteuert über die automatisch schneller werdende Eintreffrate, am Wagenhalteplatz ein. Werden in der SanHiSt weitere Sanitäter benötigt, so begeben sich diese zur Meldestelle (sie werden dem entsprechenden Ressourcenpool zugewiesen) und der Wagen wird als nicht fahrbereit einem speziellen Ressourcenpool überstellt. Ansonsten warten die Autos am Halteplatz, bis sie für einen Abtransport benötigt werden.

Die Betten-Ressource steht symbolhaft für das gesamte medizinische Material sowie Geräte, welche zur Behandlung von Patienten verwendet werden. Deshalb benötigt jeder Patient in jeder Behandlungsstelle ein „Bett“ – denn ohne Material kann keine Behandlung stattfinden. Jeder Rettungstransportwagen (RTW) und jeder Arzt bringt Material zur Versorgung eines Schwer- und eines Leichtverletzten mit, und in jedem Großunfallset ist Material zur Versorgung von 15 Schwer- und 35 Leichtverletzten enthalten. Dieses Material wird bei Ankunft als Betten-Ressource je nach Auslastung auf die entsprechenden Behandlungsstellen verteilt. Ein derartiges Vorgehen ermöglicht eine einfache, aber doch relativ realitätsnahe Abbildung der Logistik für medizinisches Material und Geräte innerhalb der SanHiSt.

Fordern mehrere Entities eine bestimmte Ressource an bzw. sind nicht genügend Ressourcen für alle Anforderungen vorhanden, so werden diese gereiht. Üblicherweise erfolgt die Reihung nach dem FIFO-Prinzip (First in, first out), allerdings kann sie auch nach selbst bestimmten Prioritäten erfolgen (XJ Technologies, 2008).

Für die hier vorgestellte Simulation wurde eine zweistufige Prioritäten-Regelung etabliert. Innerhalb einer Gruppe (bspw. dem Behandlungsstelle I) werden die Ressourcen-Anforderungen (z.B. ein Behandlungstrupp) nach dem Gesundheitszustand gereiht. Dadurch wird sichergestellt, dass Patienten, die eine Behandlung dringender brauchen, auch vorrangig behandelt werden. Technisch wurde dies über eine Warteschlange vor der eigentlichen Ressourcen-Anforderung realisiert, die die Entities aufsteigend nach ihrer Lebensenergie sortiert.

Fordern mehrere unterschiedliche Gruppen gleichzeitig zentrale Ressourcen (bspw. Ärzte oder Sanitäter in der Meldestelle) an bzw. sind nicht genügend Ressourcen vorhanden, so

werden diese nach einer Prioritäts-Liste gereiht (siehe Tabelle 21). Diese Liste soll die realen Prioritäten in einer Sanitätshilfsstelle möglichst genau abbilden, wobei eine höhere Prioritäts-Zahl eine Vorreihung bewirkt.

Priorität	Gruppe
30	Organisation
29	Triage
28	Bergetriage
27	Aufbau
20	Erster Arzt/Sanitäter für Behandlungsstelle 1
19	Erster Arzt/ Sanitäter für Behandlungsstelle 2a
18	Erster Arzt/ Sanitäter für Behandlungsstelle 2b
17	Erster Arzt/ Sanitäter für Behandlungsstelle 4
16	Erster Sanitäter für Behandlungsstelle 3
15	Weitere Ärzte/ Sanitäter für Behandlungsstelle 1
14	Weitere Ärzte/ Sanitäter für Behandlungsstelle 2a
13	Weitere Ärzte/ Sanitäter für Behandlungsstelle 2b
12	Weitere Ärzte/ Sanitäter für Behandlungsstelle 4
11	Weitere Sanitäter für Behandlungsstelle 3
10	Patient der Triagegruppe 1
9	Patient der Triagegruppe 2a
8	Patient der Triagegruppe 2b
7	Patient der Triagegruppe 4
6	Patient der Triagegruppe 3
5	Unverletzter
4	Toter

Tabelle 21: Prioritäten der Ressourcen-Zuweisung (Quelle: eigene Darstellung)

4.3 Einstellungen vor Simulationsbeginn

Um möglichst viele verschiedene Szenarien von Großschadensereignissen simulieren zu können, erlaubt das Programm, vor Simulationsbeginn eine Reihe von Einstellungen vorzunehmen (siehe Abbildung 7), welche im Folgenden näher erläutert werden.

The screenshot shows the 'SanHiSt-Simulation: Planspiel' interface. It is divided into two main sections: 'Bitte nehmen Sie hier die Situations-Einstellungen vor:' (left) and 'Bitte geben Sie hier die Einsatzleiter-Entscheidungen an:' (right). The left section includes 'Betroffene' (Number of affected: 100, Severe injury rate: 0-100%), 'Region' (Abgelegenes Gebiet, Ländliches Gebiet, Kleinstadt, Stadt, Ballungsraum), 'Veranstaltung' (Keine, Klein, Mittelform, Groß), 'Schadensplatz' (Einfach, Mittel, Komplex), and 'Behandlungsplatz' (Einfach, Mittel, Komplex). The right section includes 'Bergung' (Bergetriage durchführen, Bergung durch Sanitäter), 'Anzahl an Führungskräften' (Minimal, Maximal), 'Anzahl an Triageplätzen' (2, adjustable), and 'Sanitäter in SanHiSt (pro 100 Betroffene)' (30, adjustable). At the bottom, there are buttons for 'Einsatzleiter-Entscheidungen und Spielmodus eingeben' and 'Simulation starten'.

Abbildung 7: SanHiSt-Planspiel: Einstellungen vor Beginn (Quelle: eigene Darstellung)

4.3.1 Situations-Einstellungen

Die linke Hälfte des Start-Bildschirms, welche zu Beginn alleine sichtbar ist, bietet Möglichkeiten, das Szenario des MANV – also die exogenen Faktoren – in mehreren Bereichen einzustellen. So lassen sich als erstes die Anzahl der Betroffenen (Patienten) sowie der Prozentsatz der Schwerverletzten eingeben.

Danach erfolgt die Auswahl der Region, in der das Ereignis stattgefunden hat. Durch die fünf angebotenen Möglichkeiten – von Abgeschieden bis zum Ballungsraum – ist eine relativ realitätsnahe Einstufung der Örtlichkeit möglich, welche großen Einfluss auf den Simulationsver-

lauf hat. Eine weitere Einstellung erlaubt es, festzulegen, ob bedingt durch den Ambulanzdienst bei Veranstaltungen bereits zum Zeitpunkt des Großschadensereignisses Ärzte, Sanitäter und Autos vor Ort sind.

Weitere Möglichkeiten zur Beschreibung eines zu simulierenden Szenarios bieten die Einstellungen zur Komplexität des Schadens- und des Behandlungsplatzes. Ein einfacher Schadensplatz ermöglicht den Rettungskräften einen ungehinderten Zugang zu den verletzten Personen und deren rasche Bergung, während eine hohe Komplexität zuerst umfangreiche technische Maßnahmen der Feuerwehr (bspw. der Einsatz von hydraulischen Bergegeräten) und danach eine aufwändigere Bergung der Patienten notwendig macht.

Sehr ähnlich verhält es sich mit dem aufzubauenden Behandlungsplatz. Im einfachen Fall kann z.B. eine bestehende Infrastruktur (bspw. großes, leer stehendes Gebäude mit intakter Stromversorgung) genutzt werden, während der Aufbau eigener Zelte mit Beleuchtung und Beheizung bei Dunkelheit, Nässe und Kälte auf schlechtem Untergrund den komplexen Fall darstellen würde.

4.3.2 Einsatzleiter-Entscheidungen

Nachdem die exogenen Faktoren eingestellt wurden, kann durch einen Klick auf den darunter liegenden Button zu den Einsatzleiter-Entscheidungen – also den endogenen Faktoren – gewechselt werden.

Im Bereich der Bergung hat der Einsatzleiter zwei grundsätzliche Entscheidungen zu treffen: ob eine Bergetriage durchgeführt wird und ob die Bergung der Patienten durch die eigenen Sanitäter (als Alternative zur Feuerwehr) erfolgt.

Die Anzahl der Führungskräfte innerhalb der SanHiSt kann auf ein Minimum (einen Einsatzleiter) beschränkt bleiben, oder, bedingt durch eine größere Struktur und einen höheren Organisationsgrad, auf ein Maximum festgelegt werden.

Des Weiteren kann der Einsatzleiter noch festlegen, wie viele Triageplätze (zu Beginn) errichtet werden und wie viele Sanitäter er (im Verhältnis zur Anzahl der Patienten) vor Ort in der Sanitätshilfsstelle möchte.

4.3.3 Spielmodus

Bei der Planspiel-Oberfläche (nicht jedoch bei der reinen Berechnung) besteht noch zusätzlich die Möglichkeit, zwischen zwei verschiedenen Spielmodi zu wählen.

Einerseits besteht die Möglichkeit, nur die Mindestanforderungen an Behandlungstrupps automatisch den Behandlungsstellen zuweisen zu lassen und die zusätzlich verfügbaren Kräfte manuell zu verteilen. Dies ermöglicht dem Spieler eine größere Freiheit im Verlauf des Planspiels und damit auch eine größere Herausforderung.

Im alternativen Spielmodus werden die Behandlungstrupps vollkommen automatisch den Behandlungsstellen zugewiesen, genau so, wie dies auch in der reinen Berechnung erfolgt. Der Spieler hat darüber hinaus auch keine Möglichkeiten, in die Verteilung der Hilfskräfte einzugreifen, was ihm eine Konzentration auf andere Dinge ermöglicht.

4.4 Das Planspiel

Das Planspiel ist eine von zwei Oberflächen der SanHiSt-Simulation. Es bietet eine ausgefeilte grafische Darstellung der simulierten Elemente und ermöglicht die Beobachtung der Vorgänge in verschiedenen Geschwindigkeitsstufen (siehe Abbildung 8). Darüber hinaus erlaubt das Planspiel dem Nutzer, aktiv in den Verlauf der Simulation einzugreifen.

Die grafische Darstellung der Simulation ist dem grundsätzlichen SanHiSt-Aufbau nachempfunden und soll eher schematisch verstanden werden (bspw. ist eine räumliche Trennung der verschiedenen Behandlungsgruppen nicht immer möglich/wünschenswert). Der aktuelle Gesundheitszustand der Patienten wird durch einen farbigen Punkt über dessen Kopf mit dem Farbcode der entsprechenden Triagestelle sichtbar gemacht. Bei jeder Behandlungsstel-

le wird angezeigt, wie viele Patienten auf eine Behandlung (WB) und wie viele auf den Abtransport (WA) bzw. die Verlegung (WV) warten, sowie die Anzahl der dort eingesetzten Behandlungstrupps (BTr). Ebenso dargestellt wird die Zahl der transportbereiten Autos am Wagenhalteplatz (Transportber.), der verfügbaren Ärzte und Sanitäter in der Meldestelle und die Zahl der Toten und Unverletzten (U) in den entsprechenden Sammelstellen.

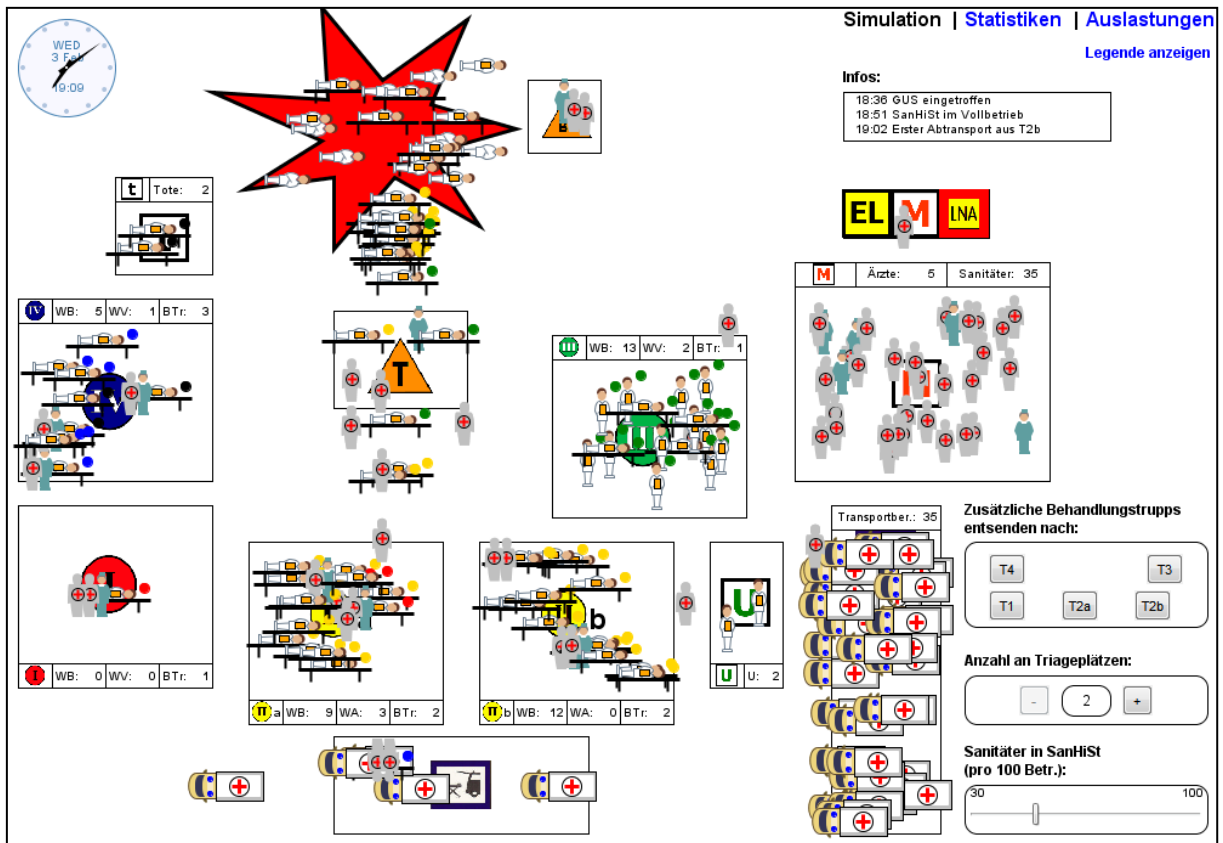


Abbildung 8: SanHiSt-Planspiel: Oberfläche (Quelle: eigene Darstellung)

In der linken oberen Ecke befindet sich eine Uhr, die die aktuell simulierte Uhrzeit anzeigt, wobei der Start-Zeitpunkt immer die tatsächliche Uhrzeit des Simulationsbeginns ist. Rechts oben finden sich Links zu den Statistiken und den Auslastungs-Auswertungen (siehe dazu weiter unten) sowie zur Legende. Darunter steht dem Spieler eine Box zur Verfügung, in der aktuelle, wichtige Informationen angezeigt werden.

Rechts unten wird dem Spieler die Möglichkeit geboten, aktiv in den Ablauf einzugreifen. Wurde der entsprechende Spielmodus (siehe Abschnitt 4.3.3) gewählt, so können zusätzliche Behandlungstrupps entsendet werden (ansonsten sind die Buttons ausgeblendet). Dies ist

dann empfehlenswert, wenn in einer Behandlungsstelle viele Patienten noch auf ihre Behandlung warten und gleichzeitig entsprechend verfügbares Personal in der Meldestelle bereitgestellt ist.

Desweiteren kann die Anzahl der Triageplätze im Planspiel jederzeit verändert und so flexibel an den Patientenfluss bei der Bergung angepasst werden, um einerseits einen Stau vor und andererseits eine unnötige Personalbindung in der Triagestelle zu vermeiden. Die Zahl der Sanitäter in der SanHiSt kann ebenfalls an die eigenen Erfordernisse angepasst werden. Es ist empfehlenswert, diese anfangs etwas höher anzusetzen und sie dann später zu reduzieren, um die Personalkapazitäten langsam von der Behandlung auf den Abtransport der Patienten zu verlegen.

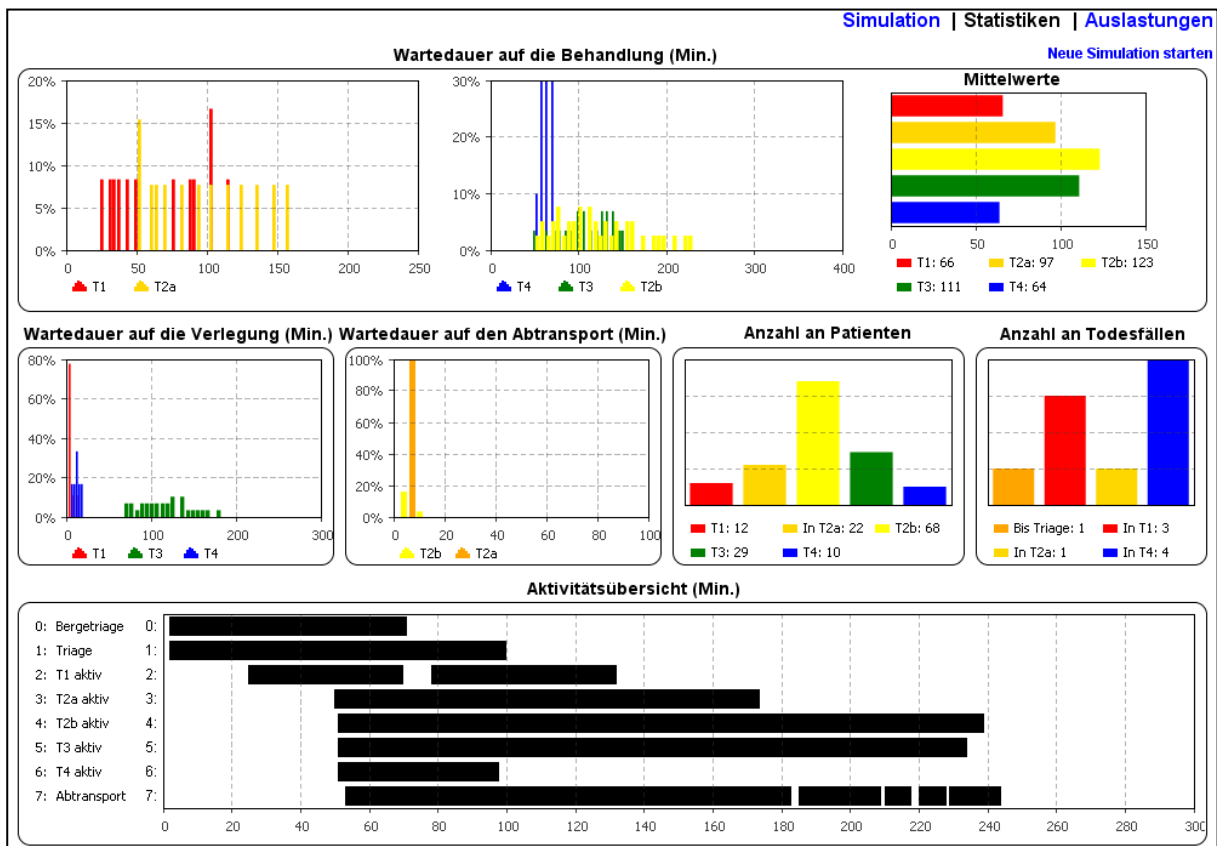


Abbildung 9: SanHiSt-Planspiel: Statistische Auswertungen (Quelle: eigene Darstellung)

Ist die Simulation beendet, wechselt das Programm zu den statistischen Auswertungen, welche in Abbildung 9 dargestellt sind und natürlich auch während der Simulation beobachtet werden können.

Im oberen Drittel werden die Wartezeiten der Patienten auf ihre Behandlung in der SanHiSt, gegliedert nach den Triagegruppen, in zwei Histogrammen sowie einem Balkendiagramm der Mittelwerte dargestellt. Darunter folgen Histogramme der Wartezeiten auf die Verlegung bzw. auf den Abtransport, sowie Säulendiagramme der Anzahl der Patienten und der Todesfälle – alles wiederum unterteilt nach den Triagegruppen. Im unteren Bereich befindet sich ein Gantt-Chart, welches die verschiedenen Aktivitäten in der SanHiSt im Zeitablauf anzeigt.

Wechselt man schließlich noch auf die nächste Seite, so erhält man eine Auslastungsanalyse der Ärzte und Sanitäter über den gesamten Zeitraum sowie die Berechnung der durchschnittlichen Auslastung (siehe Abbildung 10).

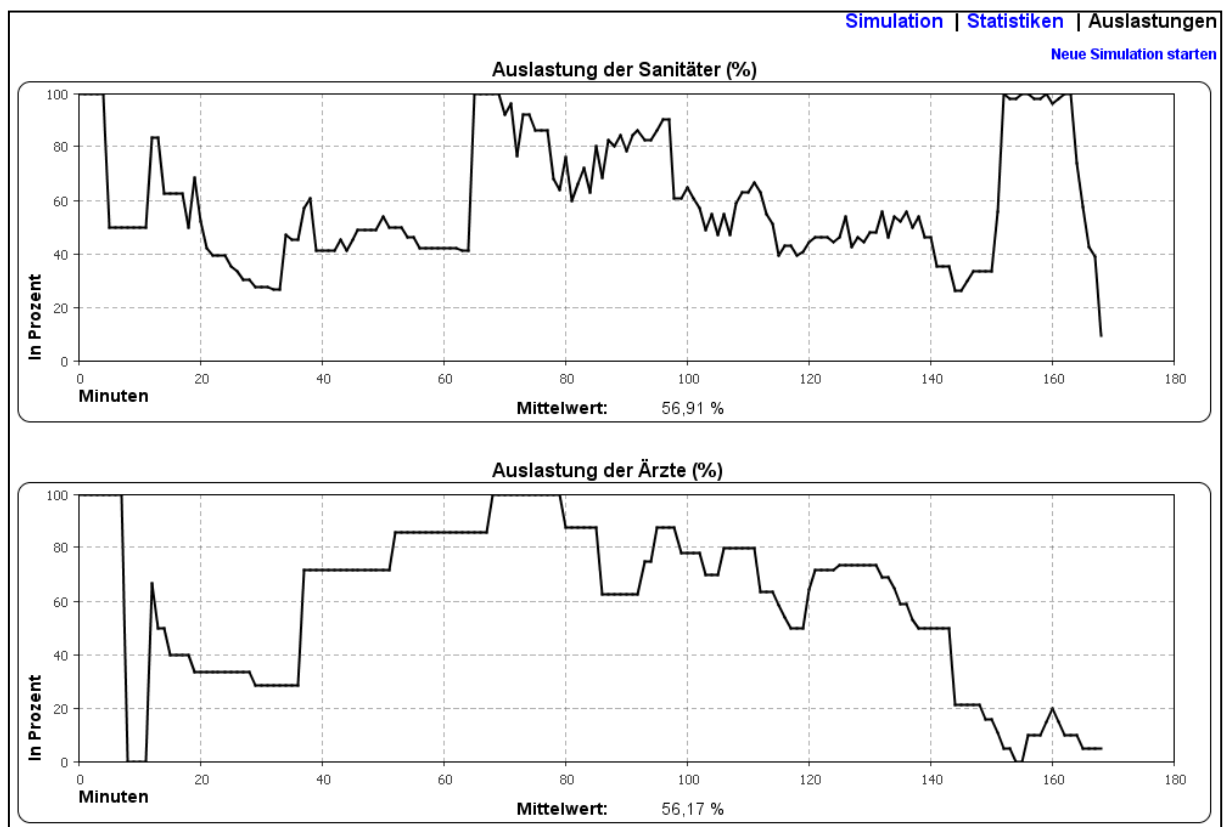


Abbildung 10: SanHiSt-Planspiel: Auslastungs-Analyse (Quelle: eigene Darstellung)

4.5 Die Berechnung

Da die Abläufe in der SanHiSt-Simulation durch viele Zufallsgeneratoren gesteuert werden, können durch einen einzelnen Durchlauf im Rahmen des Planspiels keine statistisch signifikanten Daten gewonnen werden. Um dieses Manko auszugleichen, wurde eine weitere Oberfläche geschaffen, die keine grafische Darstellung der Abläufe, dafür aber relevante Daten bietet.

Dazu wird die Simulation mit den voreingestellten Faktoren (exogen wie endogen) so oft durchlaufen, bis die gewonnenen Daten ein Konfidenzniveau von 99,9 % bei einer Fehlerwahrscheinlichkeit von 1 % (gemessen an der Gesamtdauer) erreichen. Die Mittelwerte der gewünschten Daten werden anschließend in mehreren Tabellen, teilweise mit erweiterten statistischen Werten, ausgegeben (siehe Abbildung 11).

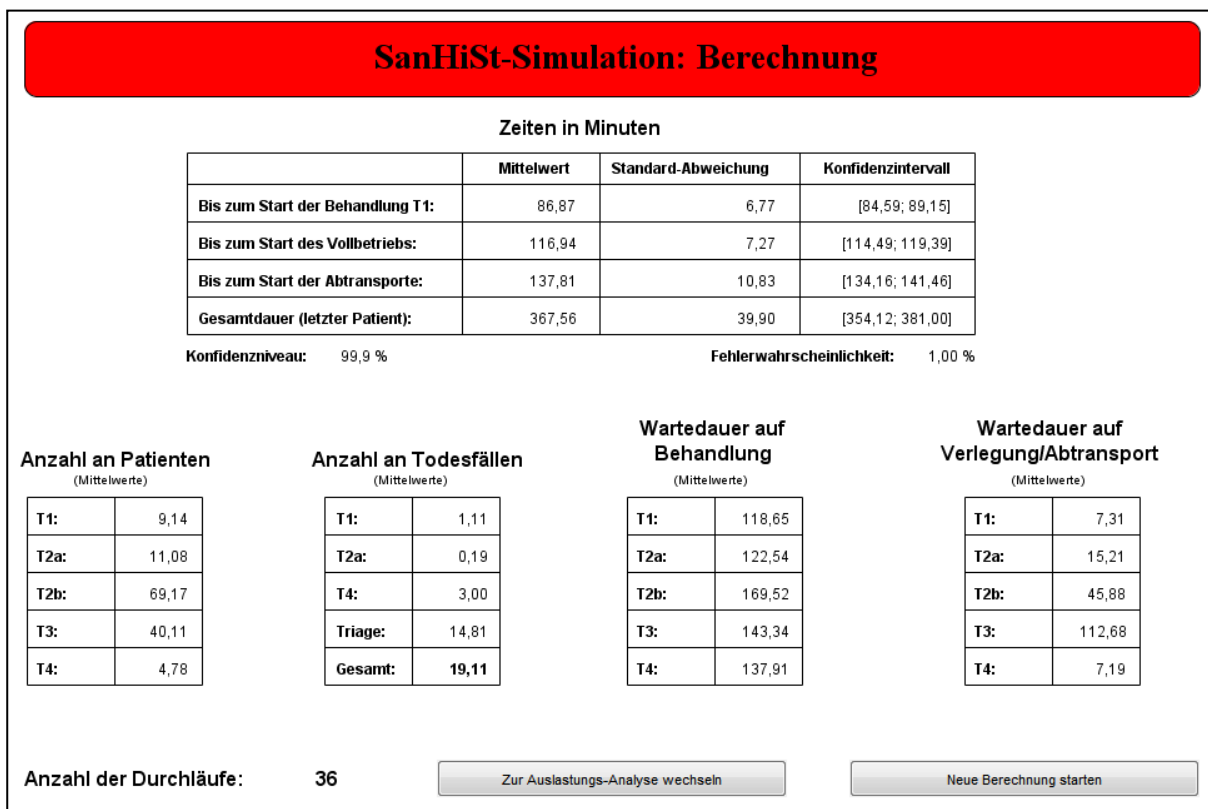


Abbildung 11: SanHiSt-Berechnung: Ergebnisse (Quelle: eigene Darstellung)

Darüber hinaus bietet die Berechnung ebenfalls eine Auslastungs-Analyse von Ärzten und Sanitätern. Dazu werden die Auslastungskurven der einzelnen Durchläufe in heller Farbe

übereinander gelegt, was Bereiche, die in vielen Durchläufen ähnlich sind, dunkel erscheinen lässt (siehe Abbildung 12). Dies ermöglicht eine grobe Abschätzung der durchschnittlichen Auslastungskurven.

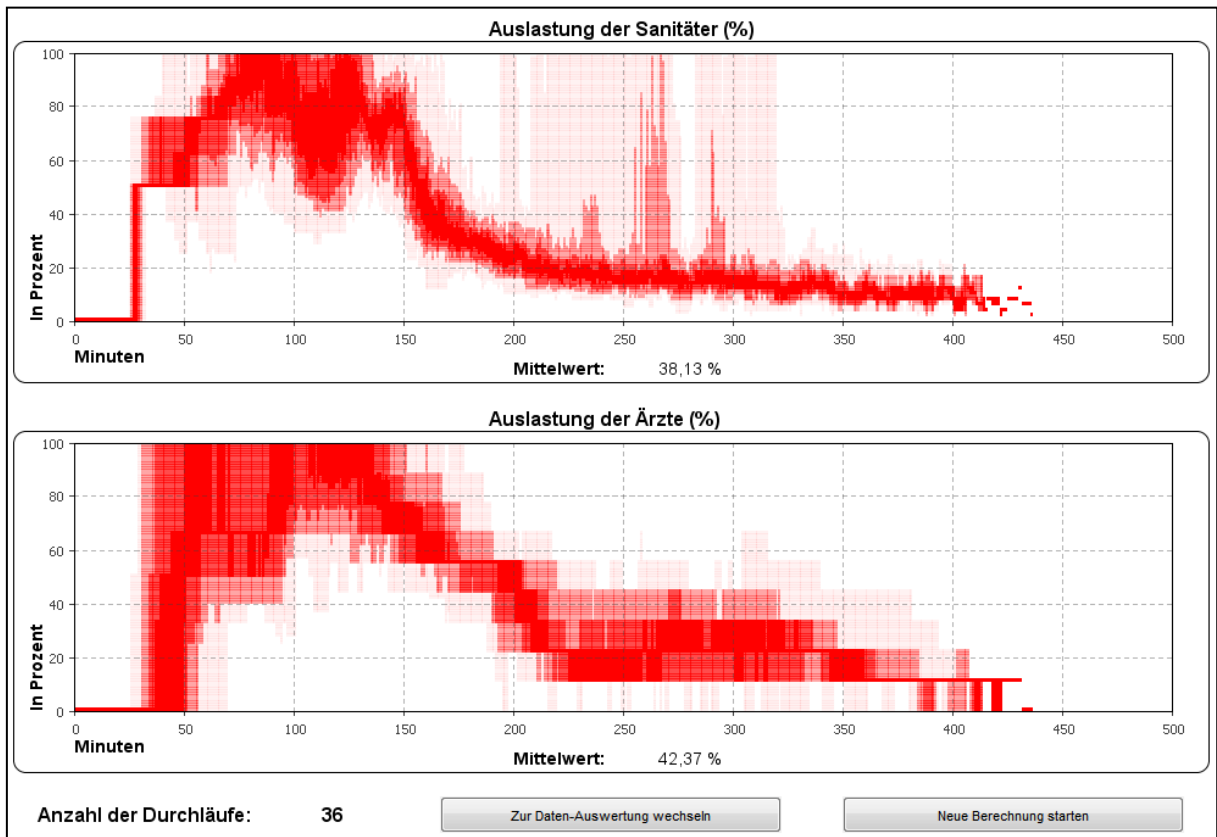


Abbildung 12: SanHiSt-Berechnung: Auslastungs-Analyse (Quelle: eigene Darstellung)

Damit bietet die in diesem Kapitel vorgestellte Simulation nicht nur die Umsetzung des SanHiSt-Konzepts in eine detailreiche Discrete Event Simulation, sondern sowohl eine Planspiel-Oberfläche mit grafischer Darstellung, aktiven Eingriffsmöglichkeiten und verschiedenen Auswertungen als auch die Möglichkeit, Simulationsergebnisse auf statistisch signifikantem Niveau zu erhalten.

5 Daten und Verteilungen

Die Verwendung korrekter Daten und die Auswahl der richtigen Wahrscheinlichkeitsverteilungen sind eine Grundvoraussetzung, um realistische Ergebnisse aus Simulationen ableiten zu können (Lewis, 2007). Das gilt selbstverständlich nicht zuletzt auch für die im vorherigen Kapitel vorgestellte Simulation des SanHiSt-Konzepts, weshalb im Folgenden näher auf die verwendeten Werte und Verteilungen eingegangen wird.

Insbesondere im Bereich von Großschadensereignissen und Katastrophen ist die Datenerhebung besonders schwierig (Mentges et al., 1997), was unter anderem folgende Ursachen hat (Auf der Heide, 2006, S. 34f):

- Es handelt sich dabei um plötzliche, unerwartete Ereignisse. Daher können weder der Ort noch die Zeit der Datenerhebung bestimmt werden, ebenso wenig wie die gewünschten Variablen.
- Daten sind oft nur kurzfristig nach dem Ereignis verfügbar und unterliegen nicht selten der ärztlichen Schweigepflicht, sofern an Ort und Stelle überhaupt suffiziente Aufzeichnungen geführt wurden.
- Im Bereich der Katastrophenhilfe wurden in den letzten Jahren so enorme Fortschritte gemacht, dass Daten von früheren Großschadensereignissen für viele aktuelle Studien nicht mehr verwendet werden können.

Ein weiteres, großes Problem in der Datenauswertung liegt in den grundsätzlich unterschiedlichen Rettungssystemen des anglo-amerikanischen und des europäischen Raumes (siehe Abschnitt 3.1). Dies führt dazu, dass amerikanische Daten, die in der Zahl der Veröffentlichungen stark überwiegen, nur in den wenigsten Fällen für europäische Untersuchungen verwendbar sind, da der Fokus der Patientenversorgung in den Krankenhäusern und nicht am Ort des Geschehens liegt.

Aus diesen Gründen wurde zur Gewinnung der im Folgenden vorgestellten Daten primär auf Interviews mit leitenden Notärzten und organisatorisch bestens ausgebildeten und erfahre-

nen Sanitätern zurückgegriffen, da nur in wenigen Fällen passende Literatur gefunden werden konnte.

5.1 Einstellbare Parameter

Tabelle 22, Tabelle 23 und Tabelle 24 zeigen jene Parameter an, deren Werte mit den Einstellungen vor Simulationsbeginn (siehe Abschnitt 4.3) geändert werden können. Bei einer triangulären Verteilung werden immer 70 % des in der Tabelle angegebenen Wertes als Minimum, 130 % als Maximum und der Wert selbst als Durchschnitt verwendet, um den verschiedensten realen Situationen möglichst gerecht zu werden.

Für die Eintreffraten (der zeitliche Abstand zwischen dem Eintreffen der einzelnen Einheiten) von Ärzten, Autos und GUS setzt die Simulation nach der ersteintreffenden Ressource immer den Maximalwert der angegebenen Spanne an, um diesen dann kontinuierlich innerhalb einer simulierten Stunde auf den Minimalwert zu senken. Dies erlaubt die realitätsnahe Simulation der eintreffenden Kräfte, die aufgrund der unterschiedlichen Anfahrtszeiten und –wege anfangs nur vereinzelt, schließlich aber in immer kürzeren Abständen am Unfallort ankommen.

Einstellung	Parameter	Quellen	Verteilung	Auswahl	Wert	Einheit
Schadensplatz	Dauer der Bergetriage	1, 2	Triangular	einfach	0,8	Minuten
				mittel	1,3	Minuten
				komplex	1,8	Minuten
	Beginn der Bergung nach X Minuten	1, 2	Triangular	einfach	1	Minuten
				mittel	25	Minuten
				komplex	40	Minuten
	Dauer der Bergung eines Patienten	1, 2	Triangular	einfach	5	Minuten
				mittel	13	Minuten
				komplex	27	Minuten
	Anzahl an Bergetrupps	1, 2	Fix	einfach	6	Trupps
				mittel	8	Trupps
				komplex	10	Trupps

Tabelle 22: Einstellbare Parameter: Schadensplatz (Quelle: eigene Darstellung)

Legende: 1 = (Steger et al., 2009); 2 = (Pfeiler, 2009)

Einstellung	Parameter	Quellen	Verteilung	Auswahl	Wert	Einheit
Region	Ersteintreffendes GUS ist nach X Minuten am Einsatzort	1, 2, 3	Triangular	Ballungsraum	20	Minuten
				Stadt	25	Minuten
				Kleinstadt	30	Minuten
				Ländliches Gebiet	45	Minuten
				Abgelegenes Gebiet	70	Minuten
	Ersteintreffendes Auto ist nach X Minuten am Einsatzort	1, 2, 3	Triangular	Ballungsraum	5	Minuten
				Stadt	8	Minuten
				Kleinstadt	11	Minuten
				Ländliches Gebiet	20	Minuten
				Abgelegenes Gebiet	28	Minuten
	Ersteintreffender Arzt ist nach X Minuten am Einsatzort	1, 2, 3	Triangular	Ballungsraum	8	Minuten
				Stadt	11	Minuten
				Kleinstadt	15	Minuten
				Ländliches Gebiet	20	Minuten
				Abgelegenes Gebiet	25	Minuten
	Abstand zwischen den eintreffenden Autos (Spanne)	1, 2, 3	Exponentiell	Ballungsraum	0,6 - 2	Minuten
				Stadt	2,5 - 5	Minuten
				Kleinstadt	3 - 8	Minuten
				Ländliches Gebiet	3 - 15	Minuten
				Abgelegenes Gebiet	4 - 20	Minuten
	Abstand zwischen den eintreffenden Ärzten (Spanne)	1, 2, 3	Exponentiell	Ballungsraum	3 - 8	Minuten
				Stadt	5 - 12	Minuten
				Kleinstadt	6 - 15	Minuten
				Ländliches Gebiet	7 - 20	Minuten
				Abgelegenes Gebiet	10 - 30	Minuten
	Abstand zwischen den eintreffenden GUS (Spanne)	1, 2, 3	Exponentiell	Ballungsraum	10 - 20	Minuten
				Stadt	15 - 25	Minuten
				Kleinstadt	20 - 30	Minuten
Ländliches Gebiet				25 - 40	Minuten	
Abgelegenes Gebiet				30 - 50	Minuten	
Maximale Anzahl an Ärzten	1, 2	Fix	Ballungsraum	20	Ärzte	
			Stadt	17	Ärzte	
			Kleinstadt	11	Ärzte	
			Ländliches Gebiet	10	Ärzte	
			Abgelegenes Gebiet	9	Ärzte	
Maximale Anzahl an GUS	1, 2	Fix	Ballungsraum	8	GUS	
			Stadt	7	GUS	
			Kleinstadt	6	GUS	
			Ländliches Gebiet	5	GUS	
			Abgelegenes Gebiet	4	GUS	

Tabelle 23: Einstellbare Parameter: Region (Quelle: eigene Darstellung)

Legende: 1 = (Steger et al., 2009); 2 = (Pfeiler, 2009); 3 = (Mentges et al., 1997)

Einstellung	Parameter	Quellen	Verteilung	Auswahl	Wert	Einheit
Behandlungsplatz	Aufbau T1	1, 2	Triangular	einfach	15	Minuten
				mittel	30	Minuten
				komplex	50	Minuten
	Aufbau Rest zusätzlich	1, 2	Triangular	einfach	30	Minuten
				mittel	60	Minuten
				komplex	90	Minuten
	Sanitäter für Aufbau	1, 2	Fix	einfach	8	Sanitäter
				mittel	10	Sanitäter
				komplex	12	Sanitäter
	Bewegungsgeschwindigkeit		Fix	einfach	200	Pixel/Minute
mittel				100	Pixel/Minute	
komplex				60	Pixel/Minute	
Veranstaltung	Anzahl an Sanitätern vor Ort	1, 2	Fix	Keine	0	Sanitäter
				Klein	6	Sanitäter
				Mittelgroß	30	Sanitäter
				Groß	60	Sanitäter
	Anzahl an Ärzten vor Ort	1, 2	Fix	Keine	0	Ärzte
				Klein	1	Ärzte
				Mittelgroß	2	Ärzte
				Groß	5	Ärzte
	Anzahl an Autos vor Ort	1, 2	Fix	Keine	0	Autos
				Klein	0	Autos
				Mittelgroß	2	Autos
				Groß	5	Autos
	Menge an SanHiSt-Material	1, 2	Fix	Keine	0	GUS vor Ort
				Klein	0	GUS vor Ort
				Mittelgroß	1	GUS vor Ort
				Groß	1	GUS vor Ort
Führungskräfte	Sanitäter in Organisation	1, 2	Fix	Minimal	1	Sanitäter
				Maximal	20	Sanitäter
	Ärzte in Organisation	1, 2	Fix	Minimal	0	Ärzte
				Maximal	1	Ärzte

Tabelle 24: Einstellbare Parameter: Behandlungsplatz, Veranstaltung und Führungskräfte (Quelle: eigene Darstellung)

Legende: 1 = (Steger et al., 2009); 2 = (Pfeiler, 2009)

5.2 Fix eingestellte Werte

Die in Tabelle 25 dargestellten Parameter haben ausschließlich fixe Werte, da sie entweder durch Vorschriften festgelegt sind (wie der Personalbedarf von Triage und Bergetriage) oder deren zufällige Änderung in der Programmlogik wenig Sinn macht.

Bereich	Quellen	Parameter	Wert	Einheit	
Bergetriage	4	Personal	1	Ärzte	
			2	Sanitäter	
Triage	4	Personal pro 2 Patienten	1	Ärzte	
			2	Sanitäter	
Personal bei der Behandlung pro Patient	1, 2, 5, 6	T1	1	Ärzte	
			2	Sanitäter	
		T2a	1	Ärzte	
			1	Sanitäter	
		T2b	1	Ärzte	
			1	Sanitäter	
		T3	0	Ärzte	
			1	Sanitäter	
T4	1	Ärzte			
	1	Sanitäter			
Kapazitäten in den Behandlungsstellen	1, 2, 5, 6	Patienten pro Sanitäter	T4	20	Patienten
			T1	1	Patienten
			T2a	4	Patienten
			T2b	9	Patienten
			T3	20	Patienten
		Patienten pro Arzt	T4	20	Patienten
			T1	2	Patienten
			T2a	10	Patienten
			T2b	10	Patienten
			T3	0	Patienten
Triagegruppen	1, 2, 5, 6	Lebensenergie	T4	1 - 10	Punkte
			T1	11 - 20	Punkte
			T2a	21 - 40	Punkte
			T2b	41 - 65	Punkte

Tabelle 25: Fix eingestellte Werte (Quelle: eigene Darstellung)

Legende: 1 = (Steger et al., 2009); 2 = (Pfeiler, 2009); 4 = (Österreichisches Rotes Kreuz, 2007); 5 = (Pramendorfer, 2009); 6 = (Niessner, 2009)

5.3 Zufällig generierte Werte

Jene Werte, die ohne den Einfluss der exogenen und endogenen Faktoren zufällig generiert werden, haben ebenso großen Einfluss auf die Ergebnisse der Simulation wie die Einstellungen vor Simulationsbeginn. Da auch hier die Daten primär durch Interviews gewonnen wurden und diese somit nicht statistisch erfassbar sind, liegen der Generierung dieser Werte die einfachsten Wahrscheinlichkeitsverteilungen (Dreiecks- und Gleichverteilung) zugrunde (siehe Tabelle 26 und Tabelle 27).

Bereich	Quellen	Verteilung	Parameter		Wert	Einheit
Lebensenergie des Patienten	1, 2, 5, 6	Uniform	Schwerverletzt	Minimum	0	Punkte
				Maximum	40	Punkte
			Leichtverletzt	Minimum	40	Punkte
				Maximum	100	Punkte
Dauer der Triage pro Patient	1, 2, 4, 5, 6	Triangular	Minimum	0,9	Minuten	
			Durchschnitt	1,9	Minuten	
			Maximum	3	Minuten	
Dauer der Behandlung pro Patient	1, 2, 5, 6, 7	Triangular	T1	Minimum	8	Minuten
				Durchschnitt	15	Minuten
				Maximum	20	Minuten
			T2a	Minimum	7	Minuten
				Durchschnitt	12	Minuten
				Maximum	15	Minuten
			T2b	Minimum	5	Minuten
				Durchschnitt	10	Minuten
				Maximum	12	Minuten
			T3	Minimum	4	Minuten
				Durchschnitt	7	Minuten
				Maximum	9	Minuten
			T4	Minimum	5	Minuten
				Durchschnitt	6	Minuten
				Maximum	8	Minuten
Dauer des Verladens pro Patient	1, 2	Triangular	Minimum	2	Minuten	
			Durchschnitt	3	Minuten	
			Maximum	4	Minuten	

Tabelle 26: Zufällig generierte Werte, Teil 1 (Quelle: eigene Darstellung)

Legende: 1 = (Steger et al., 2009); 2 = (Pfeiler, 2009); 4 = (Österreichisches Rotes Kreuz, 2007); 5 = (Pramendorfer, 2009); 6 = (Niessner, 2009); 7 = (Hupert et al., 2007)

Bereich	Quellen	Verteilung	Parameter	Wert	Einheit	
Erhöhung der Lebensenergie bei der Behandlung	1, 2, 5, 6	Triangular	T1	Minimum	-10	Punkte
				Durchschnitt	5	Punkte
				Maximum	35	Punkte
			T2	Minimum	0	Punkte
				Durchschnitt	5	Punkte
				Maximum	15	Punkte
			T4	Minimum	0	Punkte
				Durchschnitt	3	Punkte
				Maximum	5	Punkte
Maximale Wartezeit bis zur Behandlung	1, 2, 5, 6, 7	Uniform	T1	Minimum	35	Minuten
				Maximum	80	Minuten
			T2a	Minimum	80	Minuten
				Maximum	280	Minuten
			T4	Minimum	5	Minuten
				Maximum	120	Minuten
Maximale Wartezeit bis zum Abtransport	1, 2, 5, 6, 7	Uniform	T2a	Minimum	120	Minuten
				Maximum	420	Minuten
			T4	Minimum	5	Minuten
				Maximum	120	Minuten

Tabelle 27: Zufällig generierte Werte, Teil 2 (Quelle: eigene Darstellung)

Legende: 1 = (Steger et al., 2009); 2 = (Pfeiler, 2009); 5 = (Pramendorfer, 2009);
6 = (Niessner, 2009); 7 = (Hupert et al., 2007)

Die hier vorgestellten Daten, die nach bestem Wissen und Gewissen gesammelt und ausgewertet wurden, bilden neben dem Simulationsablauf an sich die Grundlage für aussagekräftige Simulationsergebnisse, wie sie im folgenden Kapitel an Hand von drei Beispielszenarien vorgestellt werden.

6 Beispielszenarien

Die in diesem Kapitel vorgestellten Beispiele sollen einerseits anschaulich die Möglichkeiten der in dieser Arbeit diskutierten SanHiSt-Simulation darstellen und andererseits den zukünftigen Anwendern einen Einblick in die richtige Auswahl der Einstellungen bieten. Alle Szenarien sind frei erfunden und basieren nicht auf wahren Begebenheiten.

6.1 Szenario: Teileinsturz eines Stadionsdaches

Als Ausgangssituation dient hier eine ausverkaufte Sportveranstaltung im Wiener Ernst-Happel-Stadion, welches seit seiner Generalsanierung überdacht ist und 50.000 Sitzplätze bietet (Magistratsabteilung 51 der Stadt Wien, 2009).

Während der Veranstaltung gibt ein Teil der Dachkonstruktion über einem Sektor nach, fällt auf die Zuschauertribüne und begräbt unzählige Menschen unter sich, so wie dies bereits im Sommer 2009 (damals aber glücklicherweise im leeren Stadion und damit ohne Verletzte) passierte (Mayr, 2009). Durch die darauf folgende Massenpanik, insbesondere in den angrenzenden Bereichen (die allerdings in der Simulation selbst nicht berücksichtigt wird), werden weitere Personen zum Teil schwer verletzt.

Der Rettungsdienst ist – wie bei derartigen Großveranstaltungen üblich – bereits mit einem Großaufgebot und dem entsprechenden Material vor Ort und beginnt sofort nach dem Dacheinsturz, eine entsprechend große SanHiSt in passenden, leer stehenden Räumlichkeiten des Stadions aufzubauen. Die ebenfalls anwesende Feuerwehr kann die eingestürzten Dachteile in kurzer Zeit entfernen, das restliche Dach sichern und damit einen ungehinderten und gefahrlosen Zugang zu den Verletzten im Einsturzbereich schaffen.

Der Einsatzleiter des Rettungsdienstes entschließt sich, die Bergung der Verletzten primär durch die eigenen Sanitäter durchführen zu lassen, da die anwesenden Feuerwehrkräfte mit der Bergung und Sicherung der Dachkonstruktion beschäftigt sind, während genügend Sanitäter bereits zur Verfügung stehen.

Die für diese Beispiel-Simulation verwendeten Daten, mit der Begründung für die Auswahl der Parameter, werden in Tabelle 28 dargestellt.

Abbildung 13 zeigt einen beispielhaften Screenshot des daraus resultierenden Planspiels, während in Abbildung 14 dessen statistische Auswertung zu sehen ist.

Einstellung	Wert	Begründung
Anzahl an Betroffenen	220	Annahme
Schwerverletztenrate	40 %	Annahme
Region	Ballungsraum	Das Stadion befindet sich im Wiener Stadtgebiet.
Veranstaltung	Groß	Es handelt sich um eine reguläre, sanitätsdienstlich betreute Großveranstaltung.
Schadensplatz	Mittel	Das Einsturzgebiet muss erst geräumt werden, die Sesselreihen der Tribünen erschweren das Bewegen der Hilfskräfte und die Bergung der Patienten. Nicht gehfähige Opfer der Massenpanik müssen erst im Stadionareal gefunden werden.
Behandlungsplatz	Einfach	Große, leere Räumlichkeiten mit Infrastruktur können genutzt werden.
Bergetriage durchführen	Ja	Während des Aufbaus der SanHiSt kann ein bereits anwesender Notarzt die Bergetriage durchführen.
Bergung durch Sanitäter	Ja	Es stehen genügend Sanitäter zur Verfügung, während die Feuerwehrleute noch mit Sicherungsarbeiten beschäftigt sind und die Gefahrenstelle kann problemlos betreten werden.
Anzahl an Führungskräften	Maximal	Vorhandene Kommando-Strukturen bleiben erhalten.
Anzahl an Triageplätze	4	Ärzte und Sanitäter sind verfügbar.
Anzahl der Sanitäter in der SanHiSt (pro 100 Betroffene)	70	Genügend Sanitäter zur Bergung

Tabelle 28: Szenario: Teileinsturz eines Stadionsdachs; Einstellungen vor Simulationsbeginn (Quelle: eigene Darstellung)

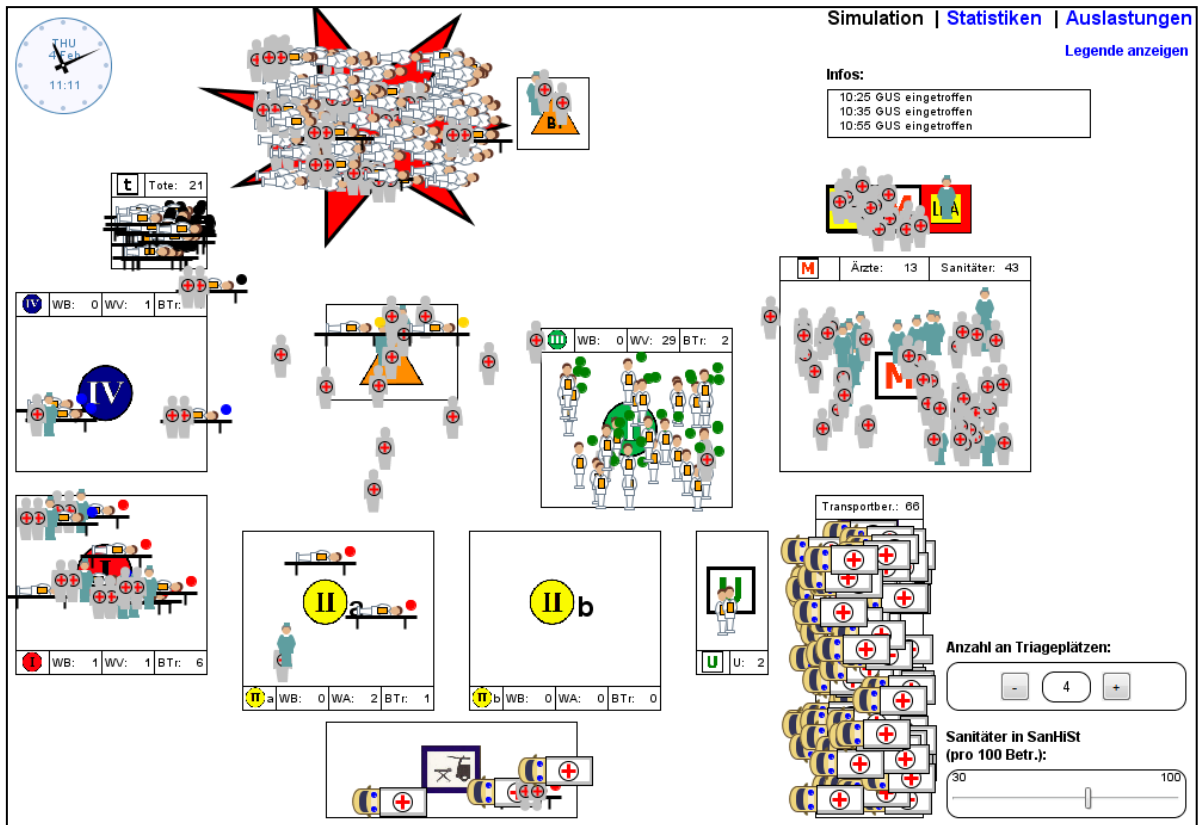


Abbildung 13: Szenario: Teileinsturz eines Stadionsdachs; Planspiel nach 120 simulierten Minuten (Quelle: eigene Darstellung)



Abbildung 14: Szenario: Teileinsturz eines Stadionsdachs; Auswertung des Planspiels (Quelle: eigene Darstellung)

Die Ergebnisse der statistischen Berechnungen für dieses Szenario stellt Abbildung 15 dar. Dabei zeigt sich sehr deutlich, dass wichtige Ergebnisse des Planspiels (wie bspw. die Gesamtdauer oder die Wartezeiten auf die Behandlung) gut mit den Berechnungen übereinstimmen. Die Behandlungsstelle für die Patienten der Triagegruppe 1 war zwar schon nach 15,77 Minuten aufgebaut, allerdings mussten diese im Durchschnitt 120,54 Minuten auf ihre Behandlung warten, was auf die aufwändige Bergung zurückzuführen ist. Genau zu sehen ist dies auch in den Ergebnissen des Planspiels, wo der erste Patient erst nach ca. 50 Minuten die Behandlungsstelle 1 erreichte (siehe Gantt-Chart in Abbildung 14).

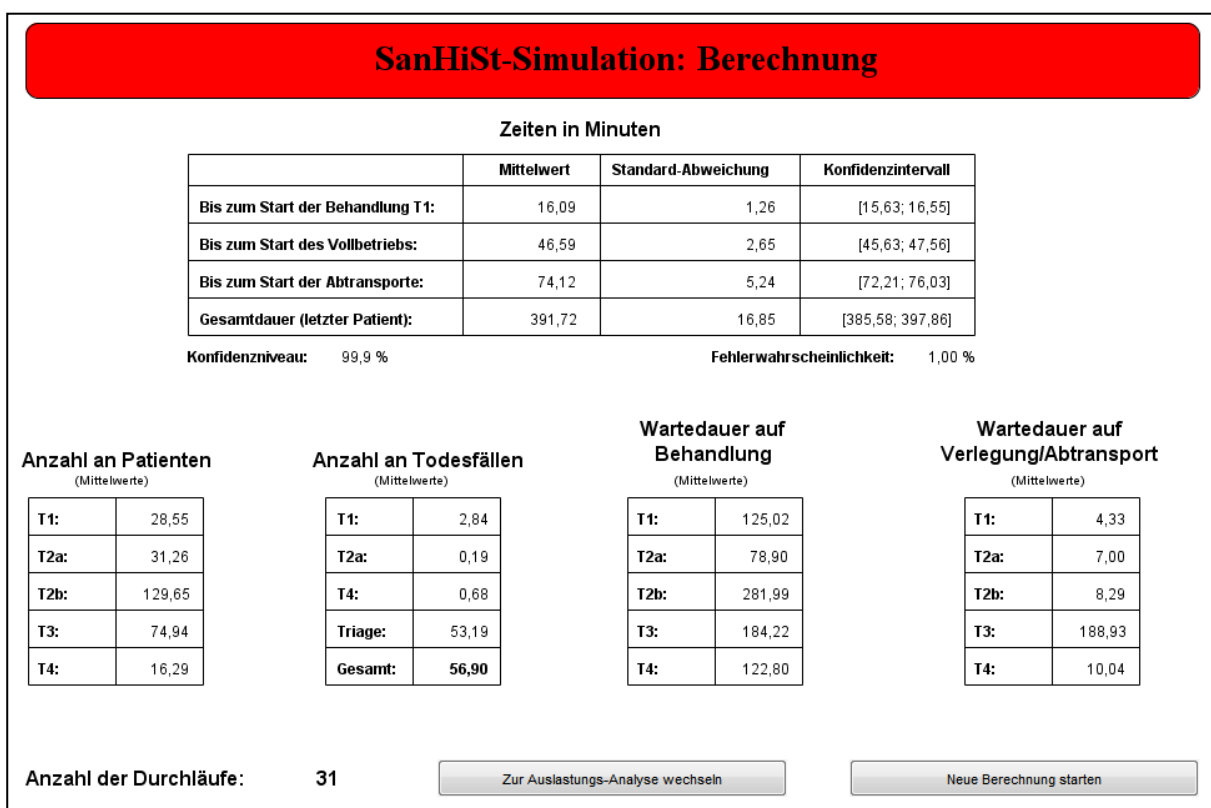


Abbildung 15: Szenario: Teileinsturz eines Stadionsdachs; Berechnungsergebnisse (Quelle: eigene Darstellung)

Die durchschnittliche Auslastung der Sanitäter ist mit 61,10 % relativ hoch, bedenkt man den eigentlich großen Personalstand der SanHiSt. Dies ist primär darauf zurückzuführen, dass die Bergung durch die Sanitäter und nicht durch die Kräfte der Feuerwehr erfolgt, was sich im Abfall der Auslastungskurve ab ca. 260 Minuten zeigt (siehe Abbildung 16).

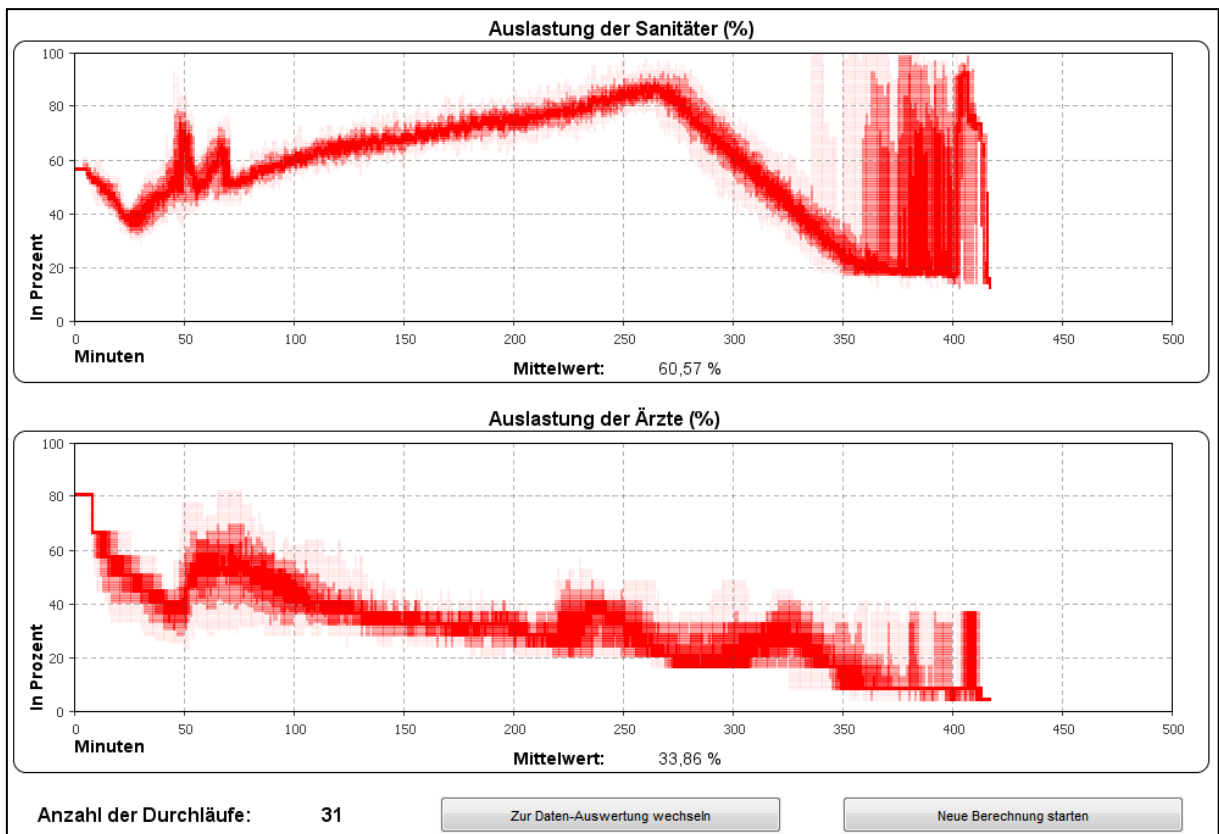


Abbildung 16: Szenario: Teileinsturz eines Stadionsdachs; Berechnung der Auslastungen (Quelle: eigene Darstellung)

Szenario: Teileinsturz eines Stadionsdachs				
	70 Sanitäter pro 100 Betroffene		50 Sanitäter pro 100 Betroffene	
	Bergetriage*	Keine Bergetriage	Bergetriage	Keine Bergetriage
Gesamtdauer	388,04 Min.	388,94 Min.	406,18 Min.	394,02 Min.
Anzahl an Todesfällen	56,03	71,32	58,82	70,81
Wartendauer auf Behandlung T1	120,54 Min.	123,30 Min.	122,04 Min.	126,34 Min.
Auslastung der Sanitäter	61,10 %	76,04 %	79,48 %	83,83 %

* Basisszenario, siehe Tabelle 28

Tabelle 29: Szenario: Teileinsturz eines Stadionsdachs; Sensitivitätsanalyse (Quelle: eigene Darstellung)

Die Auswirkungen von unterschiedlichen Entscheidungen des Einsatzleiters in diesem Szenario zeigt Tabelle 29. So verlängert sich bei weniger SanHiSt-Personal (50 statt 70 Sanitäter

pro 100 Betroffene) die Gesamtdauer um mehr als 18 Minuten, ebenso steigt die Auslastung der Sanitäter um 15 Prozentpunkte. Wird hingegen keine Bergetriage durchgeführt, so steigt die Anzahl der durchschnittlichen Todesfälle signifikant auf 71,32, wobei auch hier die Auslastung der Sanitäter stark ansteigt. Die schlechtesten Ergebnisse werden mit 50 Sanitätern pro 100 Betroffenen und ohne die Durchführung einer Bergetriage erzielt.

6.2 Zugsunglück

Die Annahme für das zweite Beispiel-Szenario stellt ein Zugsunglück eines Regionalzuges in einer entlegenen Region Österreichs dar. Obwohl die freiwilligen Feuerwehren der Region mit hoher Mannstärke rasch vor Ort sind, stellt sich die Bergung aufgrund der technischen Komplexität als äußerst schwierig heraus: Der Zugang zum Schadensplatz ist gefährlich und fast alle Passagiere müssen mit Hilfe von schweren Bergegeräten aus den Waggons befreit werden.

Die nächsten einsatzbereiten Rettungswagen sind weitläufig über den gesamten Landstrich verteilt und treffen deswegen nur sehr spärlich am Unfallort ein. Bis zur Mobilisierung zusätzlicher, freiwilliger Kräfte und dem Verbringen von Großunfallsets an den Schadensplatz vergeht längere Zeit. Da in der Nähe des Großschadensereignisses keinerlei Infrastruktur vorhanden ist, müssen für die Behandlungsstellen bei Regen und Dunkelheit zuerst Zelte auf schlechtem Untergrund aufgebaut und mit Heizung und Strom versorgt werden.

Der Einsatzleiter des Rettungsdienstes entschließt sich aufgrund der dünnen Personaldecke, mit einer minimalen Führungsstruktur zu arbeiten. Da die Feuerwehr schneller mit einer größeren Mannschaft vor Ort ist und eine technische aufwändige Bergung erforderlich ist, wird vereinbart, dass diese bis zum Triageplatz durch die Feuerwehrkräfte erfolgt.

Tabelle 30 zeigt die für dieses Szenario verwendeten Simulations-Einstellungen. Ein beispielhafter Screenshot des Planspiels ist in Abbildung 17 zu sehen, gefolgt von den Statistiken desselben (Abbildung 18).

Abbildung 19 zeigt die Ergebnisse der Berechnung dieses Szenarios. Während die Verteilung der Todesfälle innerhalb der SanHiSt ein anderes Bild als im oben gezeigten Planspiel aufweist, sind die globalen Werte wie bspw. die gesamten Todesfälle oder die Gesamtdauer sehr ähnlich.

Einstellung	Wert	Begründung
Anzahl an Betroffenen	70	Annahme
Schwerverletztenrate	20 %	Annahme
Region	Abgelegenes Gebiet	Das Zugsunglück ereignet sich in einer sehr entlegenen Region.
Veranstaltung	Keine	Es handelt sich dabei um keine Veranstaltung.
Schadensplatz	Komplex	Der Weg zum Schadensplatz ist gefährlich, die Bergung der Passagiere äußerst aufwändig und kompliziert.
Behandlungsplatz	Komplex	Die SanHiSt muss bei Regen, Dunkelheit und Kälte auf schlechtem Untergrund selbst komplett aufgebaut werden.
Bergetriage durchführen	Ja	Insbesondere bei schwieriger und länger dauernder Bergung ist die Priorisierung der zu bergenden Patienten wichtig.
Bergung durch Sanitäter	Nein	Die Bergung der Verletzten ist technisch aufwändig.
Anzahl an Führungskräften	Minimal	Geringe Personaldecke
Anzahl an Triageplätze	2	Durch die aufwändigere Bergung treffen die Patienten langsamer in der Triagestelle ein, dadurch reichen 2 Triageplätze aus.
Anzahl der Sanitäter in der SanHiSt (pro 100 Betroffene)	30	Wenig Personal verfügbar, deshalb ein eher größere Fokus auf den Abtransport.

Tabelle 30: Szenario: Zugsunglück; Einstellungen vor Simulationsbeginn (Quelle: eigene Darstellung)

Der Rettungsdienst bei einem Massenansturm von Verletzten – ein Simulationsmodell in AnyLogic

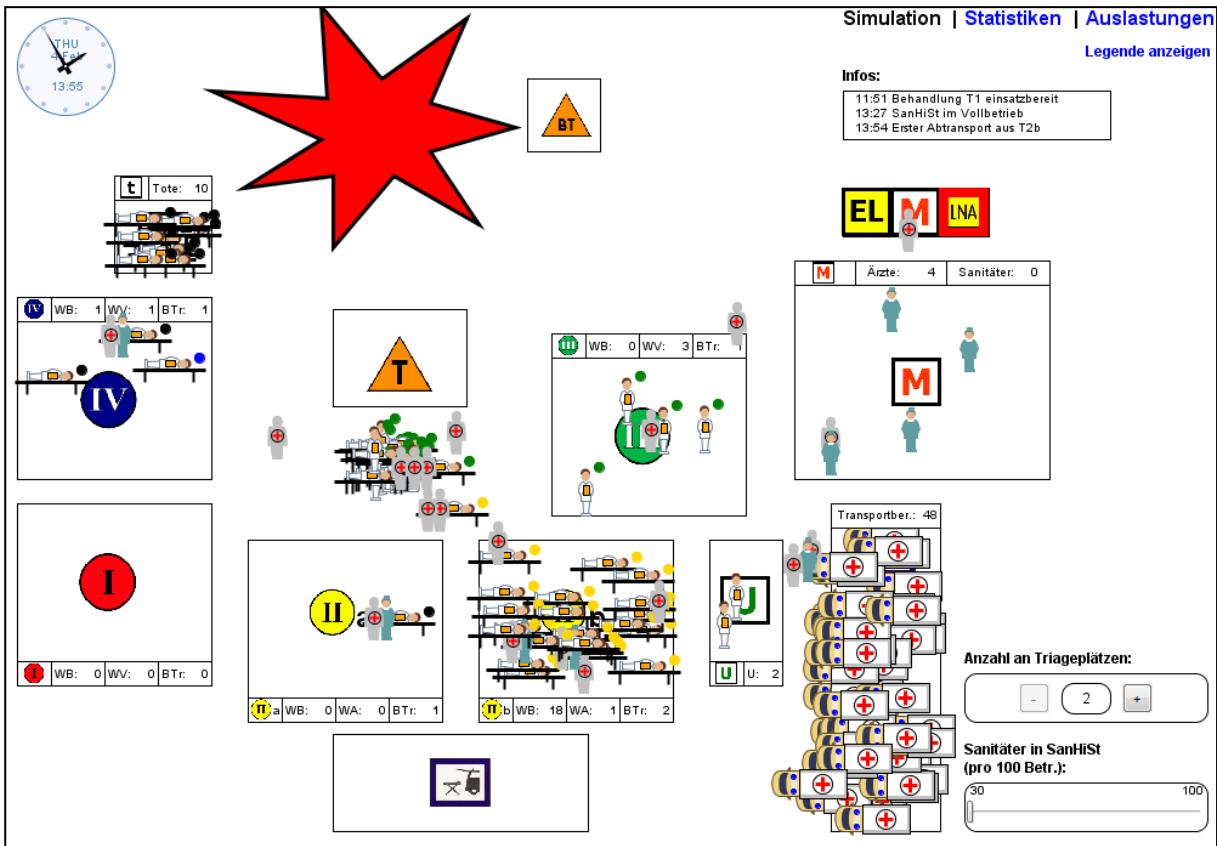


Abbildung 17: Szenario: Zugunglück; Planspiel nach 240 simulierten Minuten (Quelle: eigene Darstellung)

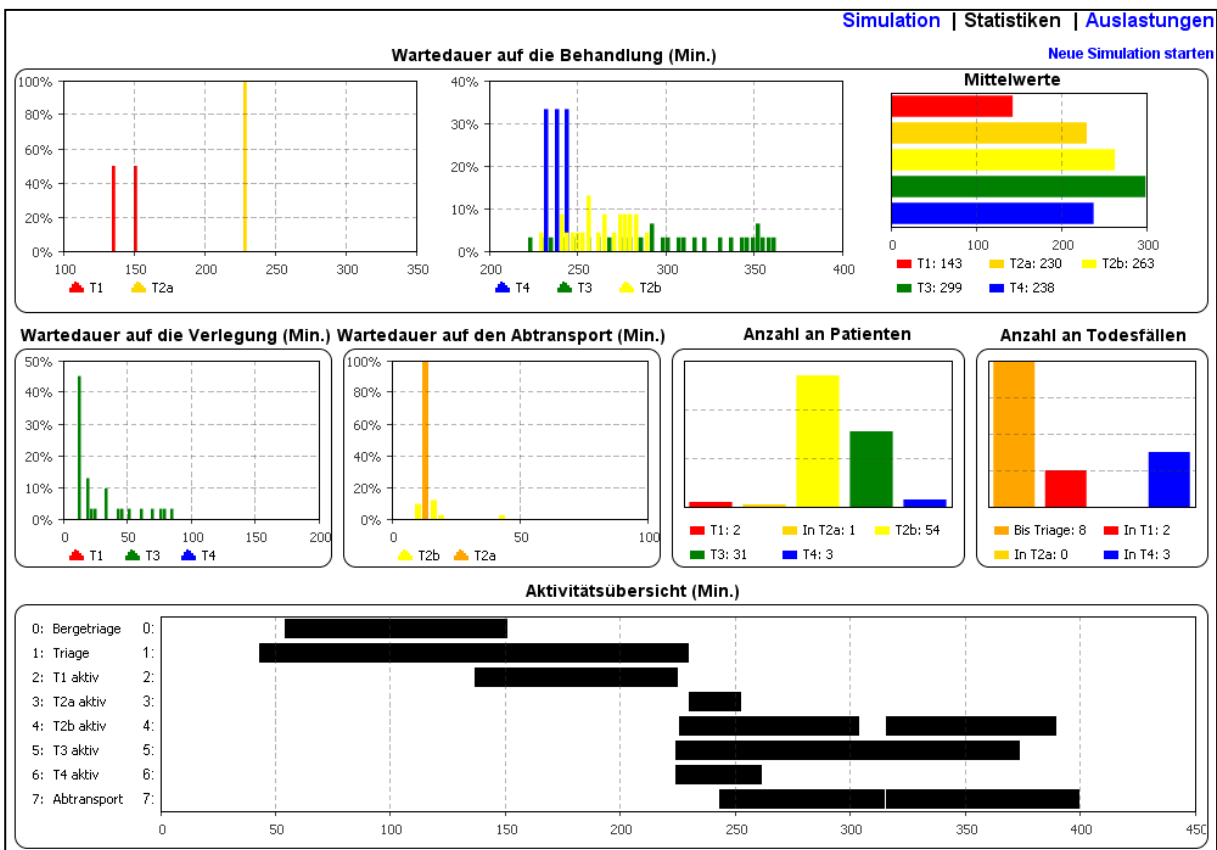


Abbildung 18: Szenario: Zugunglück; Auswertung des Planspiels (Quelle: eigene Darstellung)

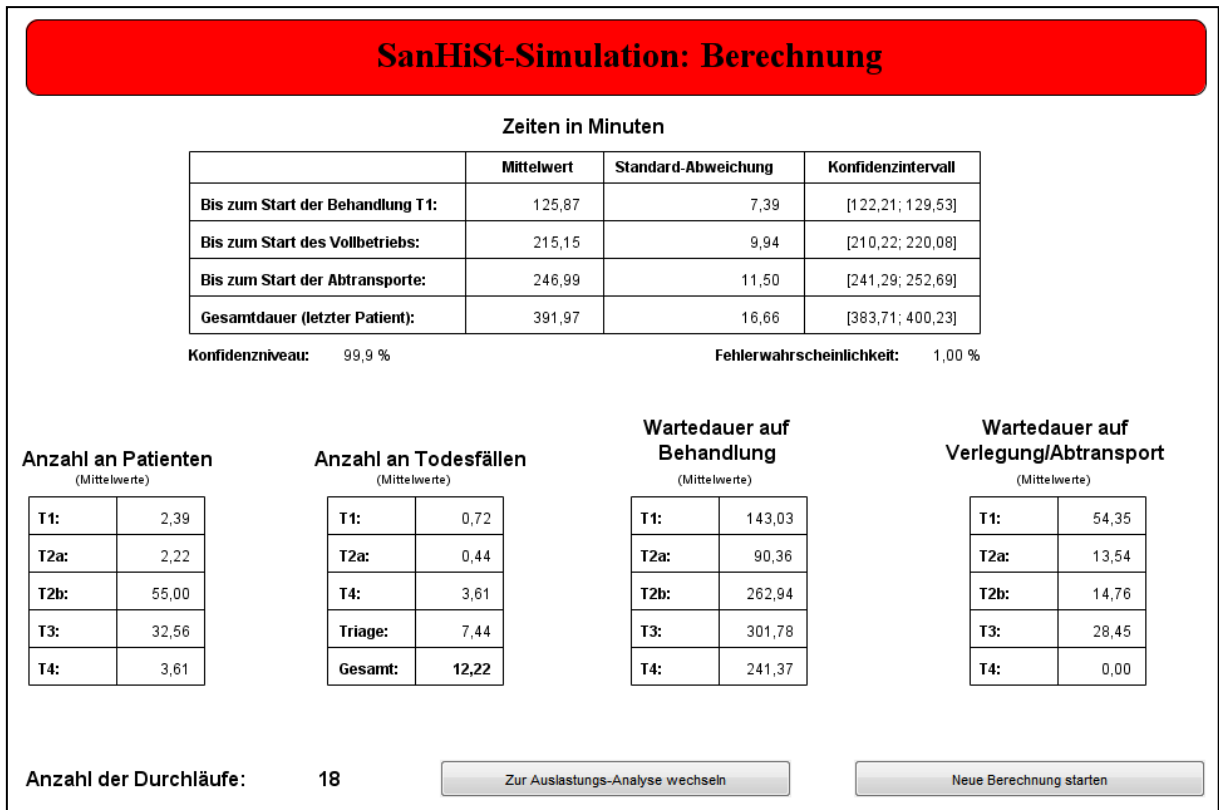


Abbildung 19: Szenario: Zugsunglück; Berechnungsergebnisse (Quelle: eigene Darstellung)

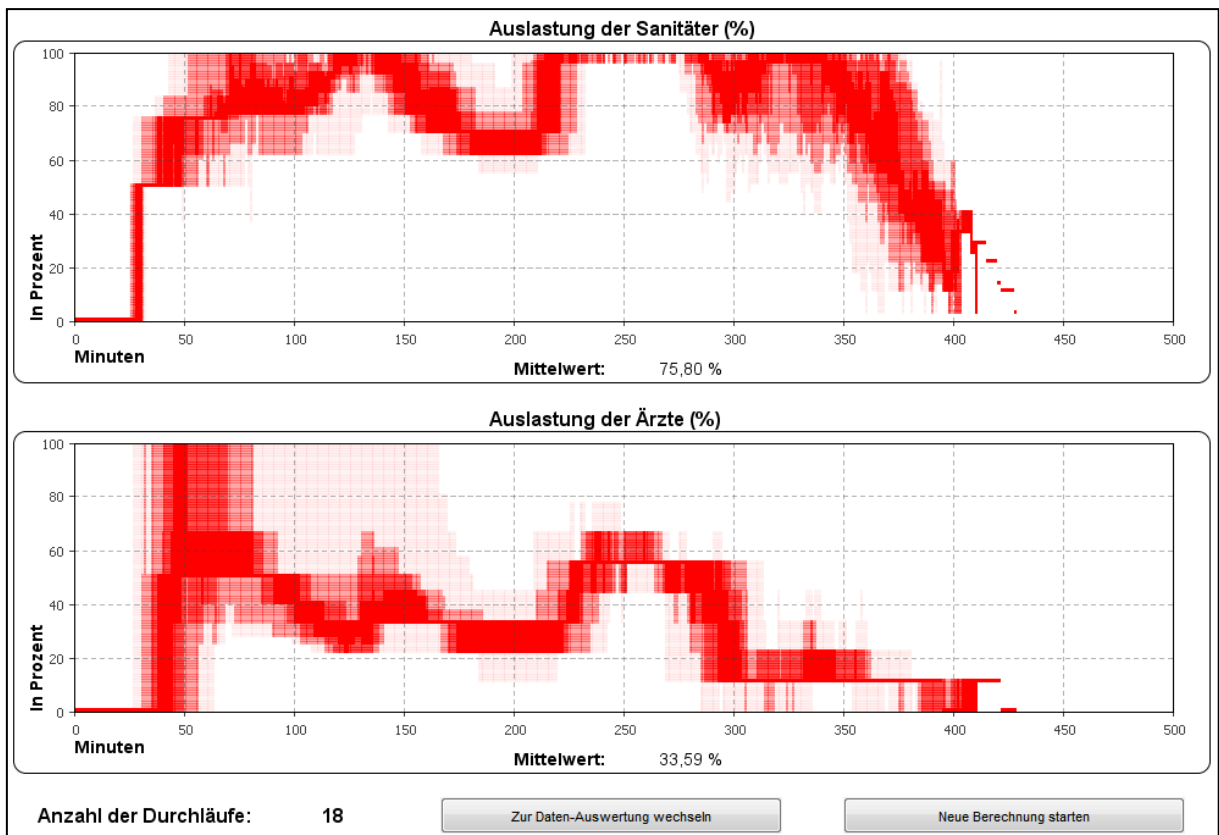


Abbildung 20: Szenario: Zugsunglück; Berechnung der Auslastungen (Quelle: eigene Darstellung)

Die Auslastungskurven (siehe Abbildung 20) weisen insbesondere für die Sanitäter sehr hohe Werte auf, bei einer durchschnittlichen Auslastung von 75,76 %. Dies ist auf die schwierigere Personalsituation in ländlicheren Gebieten, aber auch vor allem auf den geringen SanHiSt-Personalstand zurückzuführen.

Generell betrachtet zeigt dieses Szenario sehr deutlich, dass die Schwerstverletzten eines Großunfalls in einer abgeschiedenen Region, welcher die Bergungs- und Rettungsmannschaften aufgrund der Bedingungen vor Ort vor große Herausforderungen stellt, nur geringe Überlebenschancen haben.

	Szenario: Zugsunglück			
	30 Sanitäter pro 100 Betroffene		65 Sanitäter pro 100 Betroffene	
	Bergetriage*	Keine Bergetriage	Bergetriage	Keine Bergetriage
Gesamtdauer	396,21 Min.	382,16 Min.	356,85 Min.	327,68 Min.
Anzahl an Todesfällen	12,26	12,94	12,69	12,86
Wartendauer auf Behandlung T1	152,03 Min.	134,68 Min.	127,41 Min.	125,07 Min.
Auslastung der Sanitäter	75,76 %	73,62 %	58,50 %	57,67 %

* Basisszenario, siehe Tabelle 30

Tabelle 31: Szenario: Zugsunglück; Sensitivitätsanalyse (Quelle: eigene Darstellung)

Entscheidet sich der Einsatzleiter, mehr Personal in der Sanitätshilfsstelle einzusetzen, so verkürzen sich zwar die Gesamtdauer um 40 und die Wartezeit auf die Behandlung T1 um 25 Minuten und die Auslastung der Sanitäter sinkt um knapp 20 Prozentpunkte, die Anzahl der Todesfälle bleibt hingegen annähernd konstant (siehe Tabelle 31). Wird hingegen keine Bergetriage durchgeführt, so verkürzt sich die Gesamtdauer und die Wartezeit auf die Behandlung T1 ebenfalls etwas, während die Anzahl der Todesfälle leicht ansteigt.

6.3 Brand in einem Schulgebäude

Die Annahme für das dritte Szenario lautet, dass sich während des Unterrichts im Chemielabor eines Gymnasiums in einer österreichischen Bezirkshauptstadt eine Explosion ereignet, welche in weiterer Folge einen größeren Brand verursacht. Trotz der sofort eingeleiteten Evakuierung des Schulgebäudes erleidet eine große Anzahl an Personen durch die enorme Rauchentwicklung Rauchgasvergiftungen. Darüber hinaus sind alle direkt durch die Explosion betroffenen Personen schwer verletzt.

Einstellung	Wert	Begründung
Anzahl an Betroffenen	150	Annahme
Schwerverletztenrate	30 %	Annahme
Region	Kleinstadt	Eine typische Bezirkshauptstadt
Veranstaltung	Keine	Es handelt sich dabei um keine Veranstaltung.
Schadensplatz	Einfach	Das Gebäude ist durch die Feuerwehr mit Atemschutz frei zugänglich, die Bergung der Verletzten kann rasch erfolgen.
Behandlungsplatz	Einfach	Es müssen zwar (teilweise) Zelte für die einzelnen Behandlungsstellen aufgebaut werden, durch die gute Witterung ist dies allerdings schnell geschehen.
Bergetriage durchführen	Nein	Das Betreten des Schulgebäudes ist nur für die Feuerwehr unter Verwendung von schwerem Atemschutz möglich, daher kann keine Bergetriage durchgeführt werden.
Bergung durch Sanitäter	Nein	Durch die starke Rauchentwicklung ist eine Bergung nur durch die Feuerwehr möglich.
Anzahl an Führungskräften	Minimal	Geringe Personaldecke
Anzahl an Triageplätze	4	Die Bergung erfolgt zügig und es wurde keine Bergetriage durchgeführt, deswegen ist die Erhöhung auf 4 Triageplätze sinnvoll.
Anzahl der Sanitäter in der SanHiSt (pro 100 Betroffene)	50	Ausreichend Personal in den Behandlungsstellen, aber für die Bergung wird keines benötigt.

Tabelle 32: Szenario: Brand im Schulgebäude; Einstellungen vor Simulationsbeginn (Quelle: eigene Darstellung)

Die Bergung der Verletzten sowie der durch den Rauch eingeschlossenen Menschen durch die Feuerwehr kann glücklicherweise sehr rasch erfolgen. Für den Aufbau der SanHiSt stehen dem Rettungsdienst an das Schulgebäude angrenzende Freiflächen zur Verfügung, weshalb dieser dank guten Witterungsbedingungen zügig von statten geht.

Die Einstellung, die für die Simulation dieses Szenarios verwendet wurden, ist in Tabelle 32 mit den Begründungen zur Auswahl aufgeführt. Die folgenden Screenshots (Abbildung 21 und Abbildung 22) zeigen ein beispielhaftes, mit diesen Parametern gestartetes Planspiel sowie dessen Auswertungen.

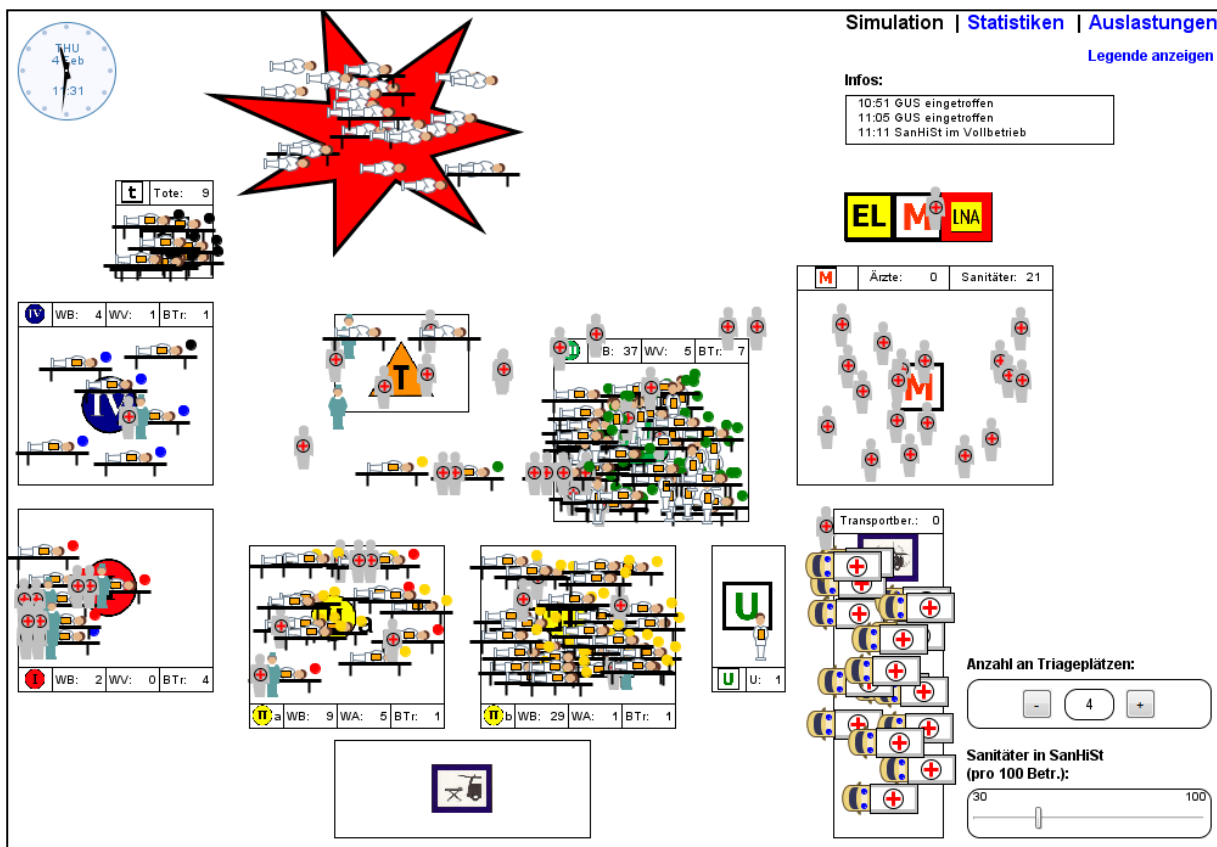


Abbildung 21: Szenario: Brand im Schulgebäude; Planspiel nach 90 simulierten Minuten (Quelle: eigene Darstellung)

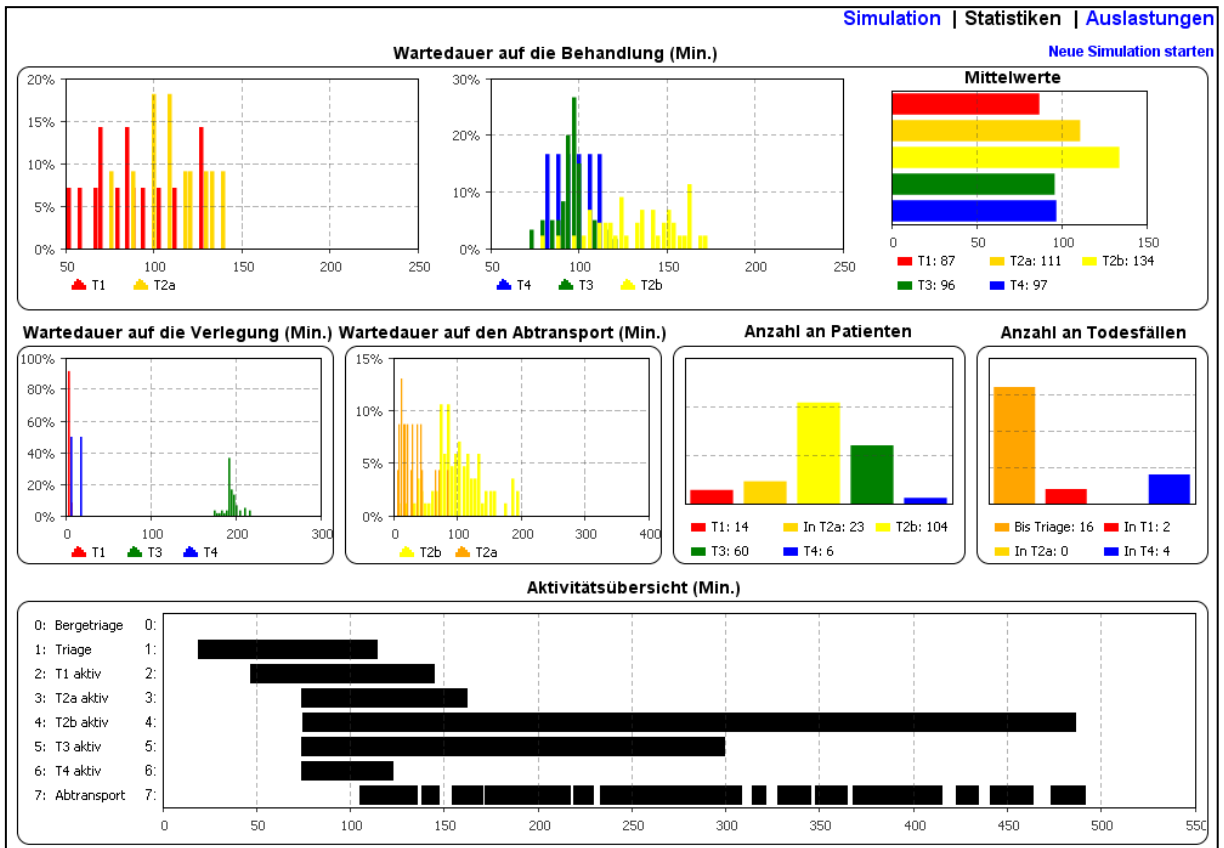


Abbildung 22: Szenario: Brand im Schulgebäude; Auswertung des Planspiels (Quelle: eigene Darstellung)

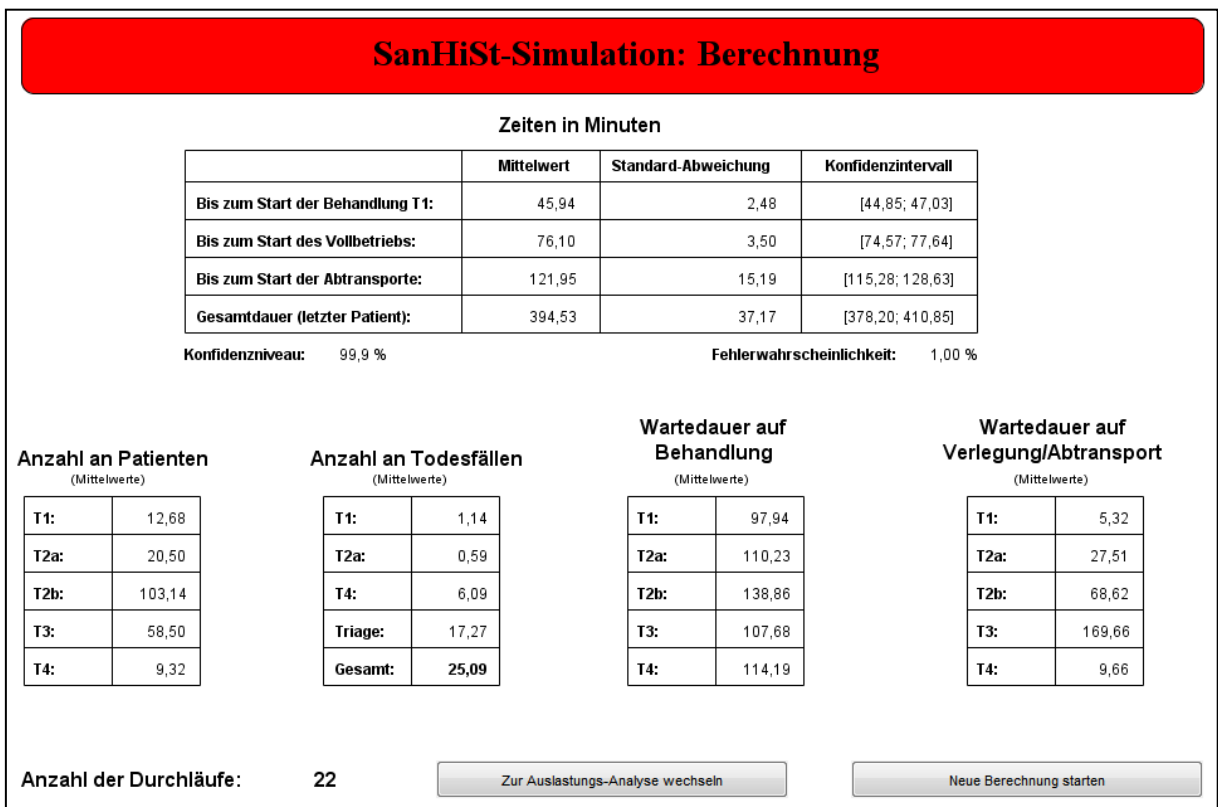


Abbildung 23: Szenario: Brand im Schulgebäude; Berechnungsergebnisse (Quelle: eigene Darstellung)

Die Ergebnisse der Berechnung sind etwas schlechter als jene vom gezeigten Planspiel und weisen eine Gesamtdauer von etwas über 400 Minuten bei 24,63 Todesfällen auf (siehe Abbildung 23).

Die Auslastungen, welche in Abbildung 24 zu sehen sind, zeigen sowohl bei den Sanitätern als auch bei den Ärzten für die ersten 120 Minuten sehr hohe Werte mit einem anschließenden starken Rückgang an. Ab diesem Zeitpunkt wäre es im Planspiel angebracht, die Anzahl der Sanitäter in der SanHiSt auf ein Minimum zu reduzieren, um dafür die Abtransporte schneller durchführen zu können.

Tabelle 33 zeigt anhand der Darstellung verschiedener Berechnungsergebnisse, dass bei einer Reduktion des SanHiSt-Personals auf 30 Sanitäter pro 100 Betroffene zwar die Gesamtdauer sinkt, die Zahl der Todesfälle und die Auslastung der Sanitäter aber signifikant ansteigt. Wählt man hingegen bei der Simulation für die Komplexität die Einstellung „mittel“ aus, so sinken die Zeiten etwas, die Zahl der Todesfälle sowie die Auslastung steigen hingegen stark an.

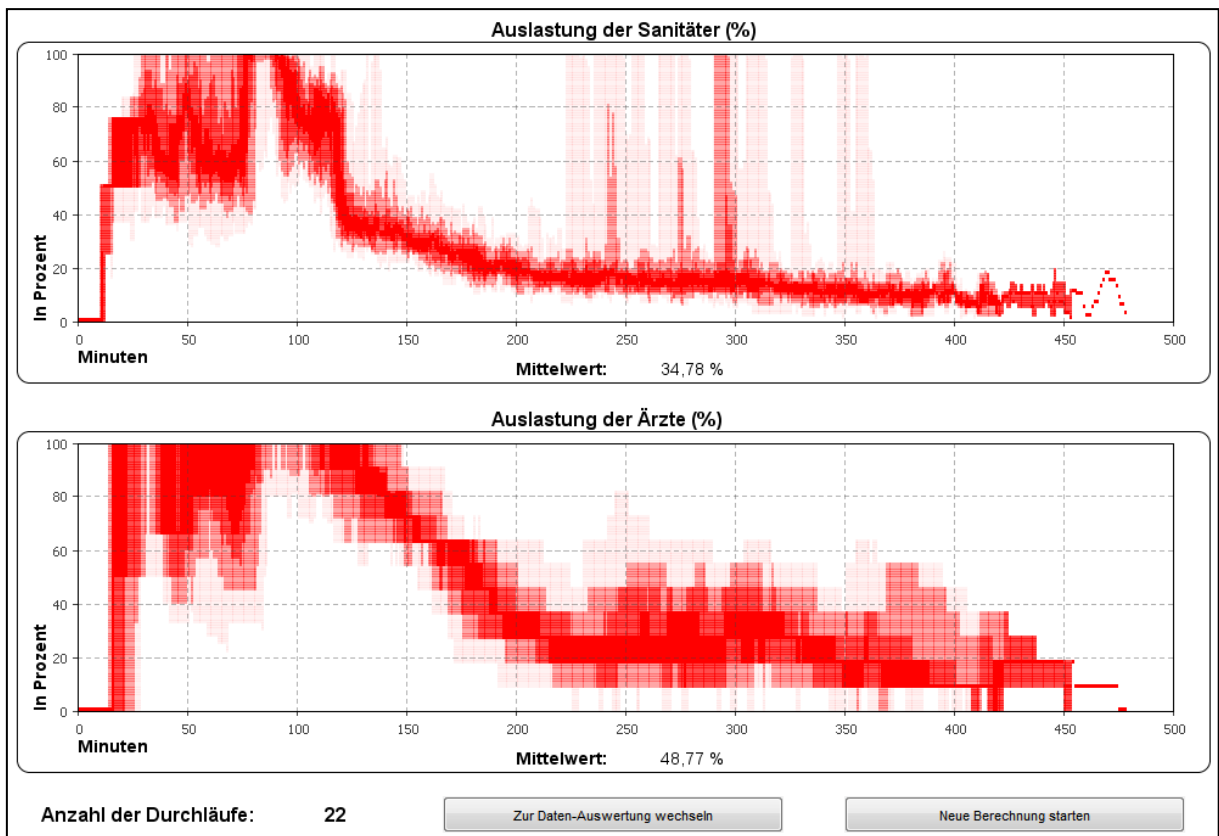


Abbildung 24: Szenario: Brand im Schulgebäude; Berechnung der Auslastungen (Quelle: eigene Darstellung)

Szenario: Teileinsturz eines Stadionsdachs				
	50 Sanitäter pro 100 Betroffene		30 Sanitäter pro 100 Betroffene	
	Behandlungsplatz: einfach *	Behandlungsplatz: mittel	Behandlungsplatz: einfach	Behandlungsplatz: mittel
Gesamtdauer	401,12 Min.	392,87 Min.	374,13 Min.	362,36 Min.
Anzahl an Todesfällen	24,63	28,25	26,00	27,75
Wartendauer auf Behandlung T1	96,39 Min.	96,15 Min.	103,69 Min.	101,67 Min.
Auslastung der Sanitäter	33,78 %	42,17 %	44,72 %	59,78 %

* Basisszenario, siehe Tabelle 30

Tabelle 33: Szenario: Brand im Schulgebäude; Berechnung verschiedener Einstellungen (Quelle: eigene Darstellung)

7 Resümee

Simulationen werden im Gesundheitswesen zu einem wichtigen Werkzeug, um wirtschaftliche Bewertungen durchzuführen, Entwicklungen vorauszusagen oder die Auswirkungen von Prozess- und Raumänderungen zu prognostizieren. Die Literaturübersicht in dieser Arbeit zeigt, dass auch im Rettungsdienst diese Entwicklung bereits erkennbar ist, obwohl dort noch viel Potenzial für zukünftige Forschungen liegt.

Genau hier setzt die im Zuge dieser Magisterarbeit erstellte Simulation der Sanitätshilfsstelle an und bietet dem Rettungsdienst eine Darstellungsmöglichkeit für Großschadensereignisse. Das letzte Kapitel zeigte anhand von drei beispielhaft vorgestellten Szenarien deutlich die unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten auf. Auch wenn einzelne Ergebnisse nicht mit realen Ereignissen übereinstimmen mögen, bietet diese Simulation doch einen guten Anhaltspunkt zur Datengewinnung und mit dem Planspiel eine ausgezeichnete Schulungsmöglichkeit für künftige Führungskräfte.

Diese Magisterarbeit legt den Grundstein für künftige Weiterentwicklungsmöglichkeiten, die einerseits in der Darstellung der konkreten Umgebung von Großschadensereignissen mit Hilfe von Gebäudeplänen und Landkarten, andererseits auch in der Einbindung anderer Rettungsmannschaften (z.B. der Feuerwehr) sowie speziellen Erfordernissen (bspw. einer Dekontamination der Patienten) bestehen.

Quellenverzeichnis

1) Literatur der Literaturübersicht

- [1] Andersson T., Värbrand P. (2007) Decision support tools for ambulance dispatch and relocation. *Journal of the Operational Research Society* 58: 195 – 201.
- [2] Ashby M., Miller M., Ferrin D., Flynn T. (2007) Simulating the patient move: Transitioning to a replacement hospital. *Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference*: 1562 – 1565.
- [3] Atkinson J.B., Kovalenko I.N., Kuznetsov N., Mykhalevych K.V. (2008) A hypercube queueing loss model with customer-dependent service rates. *European Journal of Operational Research* 191: 223–239.
- [4] Atkinson J.B., Kovalenko I.N., Kuznetsov N., Mykhalevych, K.V. (2006) Heuristic methods for the analysis of a queueing system describing emergency medical services deployed along a highway. *Cybernetics & Systems Analysis* 42: 379–391.
- [5] Batta R., Mannur N. (1990) Covering-Location Models for Emergency Situations That Require Multiple Response Units. *Management Science* 36 (1): 16 – 23.
- [6] Channouf N., L'Ecuyer P., Ingolfsson A., Avramidis, A.N. (2007) The application of forecasting techniques to modeling emergency medical system calls in Calgary, Alberta. *Health Care Management Science* 10 (1): 25 – 45.
- [7] Christie P.M., Levary R.R. (1998) The use of simulation in planning the transportation of patients to hospitals following a disaster. *Journal of Medical Systems* 22 (5): 289 – 300.
- [8] Clark D., Hahn D., Hall R., Quaker R. (1994) Optimal Location for a Helicopter in a Rural Trauma System: Prediction using Discrete-Event Computer Simulation. *Proceedings of the Symposium on Computer Applications in Medical Care 1994*: 888 – 92.
- [9] Deng G., Ferris M. (2007) Extension of the Direct Optimization Algorithm for Noisy Functions. *Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference*: 497 – 504.
- [10] Erkut E., Fenske R., Kabanuk S., Gardiner Q., Davis J. (2001) Improving the emergency service delivery in St. Albert. *INFOR* 39: 416 – 433.
- [11] Fawcett W., Oliveira C.S. (2000) Casualty Treatment after Earthquake Disasters: Development of a Regional Simulation Model. *Disasters* 24 (3): 271 – 287.
- [12] Fiedrich F., Gehbauer F., Rickers U. (2000) Optimized resource allocation for emergency response after earthquake disasters. *Safety Science* 35 (1-3): 41 – 57.

- [13] Gay Cabrera A., Gehring C., Groß S., Burghofer K., Lackner C.K. (2006) SiMoN: Methodische Grundlage eines Simulationsmodells für die Notfallrettung - Neuentwicklung der Generierung des Einsatzaufkommens mittels stochastischer Verfahren. *Notfall + Rettungsmedizin* 9 (7): 611 – 618.
- [14] Gendreau M., Laporte G., Semet F. (2006) The maximal expected coverage relocation problem for emergency vehicles. *Journal of the Operational Research Society* 57: 22 – 28.
- [15] Gendreau M., Laporte G., Semet F. (2001) A dynamic model and parallel tabu search heuristic for real time ambulance relocation. *Parallel Computing* 27: 1641 – 53.
- [16] Goldberg J., Dietrich R., Chen J.M., Mitwasi M., Valenzuela T., Criss E. (1990) A simulation model for evaluating a set of emergency vehicle base locations: development, validation, and usage. *Socio-Economic Planning Sciences* 24 (2): 125 – 141.
- [17] Goldberg J., Szidarovszky F. (1990) Methods for Solving Nonlinear Equations Used in Evaluating Emergency Vehicle Busy Probabilities. *Operations Research* 39 (6): 903 – 916.
- [18] Gong Q., Batta R. (2007) Allocation and reallocation of ambulances to casualty clusters in a disaster relief operation. *IIE Transactions* 39 (1): 27 – 39.
- [19] Gunes E., Szechtman R. (2005) A simulation model of a helicopter ambulance service. *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*: 951 – 957.
- [20] Harewood S. I. (2002) Emergency ambulance deployment in Barbados: a multi-objective approach. *Journal of the Operational Research Society* 53: 185 – 192.
- [21] Henderson S.G., Mason A.J. (2004) Ambulance service planning: simulation and data visualisation. In: Brandeau M. L., Sainfort F., Pierskalla W. P. (eds) *Operations research and health care: a handbook of methods and applications, handbooks in operations research and management science*. Kluwer Academic, Boston: 77 – 102.
- [22] Iannoni A.P., Morabito R., Saydam C. (2008) A hypercube queuing model embedded into a genetic algorithm for ambulance deployment on highways. *Annals of Operations Research* 157 (1): 207 – 224.
- [23] Iannoni A.P., Morabito R., Saydam C. (2009) An optimization approach for ambulance location and the districting of the response segments on highways. *European Journal of Operational Research* 195: 528 – 542.
- [24] Ingolfsson A., Erkut E., Budge S. (2003) Simulation of single start station for Edmonton EMS. *Journal of the Operational Research Society* 54: 736 – 746.
- [25] Inoue H., Yanagisawa S., Kamae I. (2006) Computer-simulated assessment of methods of transporting severely injured individuals in disaster—Case study of an airport accident. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 81 (3): 256 – 265.

- [26] Jotshi A., Gong Q., Batta R. (2009) Dispatching and routing of emergency vehicles in disaster mitigation using data fusion. *Socio-Economic Planning Sciences* 43: 1 – 24.
- [27] Koch O., Weigl H. (2003) Modeling ambulance service of the Austrian Red Cross. *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference* (2): 1701 – 1706.
- [28] Koehler G., Foley D., Jones M. (1992) A computer simulation of a California casualty collection point used to respond to a major earthquake. *Prehospital and Disaster Medicine* 7 (4): 339 – 347.
- [29] McLay L. (2009) A maximum expected covering location model with two types of servers. *IIE Transactions* 41: 730 – 741.
- [30] Mielczarek B., Zabawa J. (2007) Tools Of Monte Carlo Simulation In Inventory Management Problems. *ECMS 2007 21st European Conference on Modelling and Simulation*. Online: http://www.scs-europe.net/conf/ecms2007/ecms2007-cd/ecms2007/ecms2007%20pdf/ibs_0089.pdf [4. August 2009]
- [31] Peleg K., Pliskin J. (2004) A Geographic Information System Simulation Model of EMS: Reducing Ambulance Response Time. *American Journal of Emergency Medicine* 22 (3): 164 – 70.
- [32] Rajagopalan H., Saydam C., Xiao J. (2008) A multiperiod set covering location model for dynamic redeployment of ambulances. *Computers & Operations Research* 35: 814 – 826.
- [33] Repede J. F., Bernardo J. J. (1994) Developing and validating a decision support system for locating emergency medical vehicles in Louisville, Kentucky. *European Journal of Operational Research* 75 (3): 567 – 581.
- [34] Restrepo M., Henderson S.G., Topaloglu H. (2009) Erlang loss models for the static deployment of ambulances. *Health Care Management Science* 12: 67 – 79.
- [35] Shuman L.J., Wolfe H., Gunter M.J. (1992) RURALSIM: the design and implementation of a rural EMS simulator. *Journal of the Society for Health Systems* 3 (3): 54 – 71.
- [36] Smith S.W., Portelli I., Narzisi G., Nelson L.S., Menges F., Rekow E.D., Mincer J.S., Mishra B., Goldfrank L.R. (2009) A novel approach to multihazard modeling and simulation. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness* 3 (2): 75 – 87.
- [37] Stundzia A.B., Lumsden C.J. (1994) A computer-based simulator for air ambulance system analysis, design and optimization. *Air Medical Journal* 13 (3): 96 – 103.
- [38] Su S., Shih CL. (2002) Resource reallocation in an emergency medical service system using computer simulation. *The American Journal of Emergency Medicine* 20 (7): 627 – 34.
- [39] Su S., Shih CL. (2003) Modeling an emergency medical services system using computer simulation. *International Journal of Medical Informatics* 72: 57 – 72.

- [40] Valenzuela T.D., Goldberg J., Keeley K.T., Criss E.A. (1990) Computer modeling of emergency medical system performance. *Annals of Emergency Medicine* 19 (8): 898 – 901.
- [41] Yi W., Kumar A. (2007) Ant colony optimization for disaster relief operations. *Transportation Research Part E* 43: 660–672.
- [42] Yi W., Özdamar L. (2007) A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities. *European Journal of Operational Research* 179: 1177 – 1193.
- [43] Zhu Z., McKnew M.A., Lee J. (1992) Effects of time-varied arrival rates: an investigation in emergency ambulance service systems. In: *Proceedings of the 1992 winter simulation conference*. IEEE Press, Piscataway, NJ: 1180 – 1186.

2) Zusätzliche Literatur

Adams, H. A. (2006). Patientenversorgung im Katastrophenfall. *Der Unfallchirurg* 109: 583 - 586.

Auf der Heide, E. (2006). The Importance of Evidence-Based Disaster Planning. *Annals of Emergency Medicine* 47 (1): 34 - 49.

Denzel, M., Usdiken, B., & Tunçalp, D. (2003). Drift or shift? Continuity, change, and international variation in knowledge production in OR/MS. *Operations Research* 51 (5): 711 - 720.

Fishman, G. S. (2001). *Discrete-event simulation: modeling, programming, and analysis*. New York: Springer-Verlag.

Fone, D., Hollinghurst, S., Temple, M., Round, A., Lester, N., Weightman, A., et al. (2003). Systematic review of the use and value of computer simulation modelling in population health and health care delivery. *Journal of Public Health Medicine* 25 (4): 325 - 335.

Haas, B., & Nathens, A. B. (2008). Pro/con debate: Is the scoop and run approach the best approach to trauma services organization? *Critical Care* 12 (5): 224 - 234.

Hansak, P., Petutschnigg, B., Böbel, M., Hündorf, H.-P., Lipp, R., & Veith, J. (2003). *LPN-San Österreich - Lehrbuch für Rettungssanitäter, Betriebssanitäter und Bundesheersanitäter*. Edwecht: Stumpf & Kossendey.

Hupert, N., Hollingsworth, E., & Xiong, W. (2007). Is Overtriage Associated With Increased Mortality? Insights From a Simulation Model of Mass Casualty Trauma Care. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness* 1 (1): 14 - 24.

Kleine Zeitung. (25. Mai 2009). Inferno im Tauerntunnel jährt sich zum zehnten Mal. *Kleine Zeitung*.

Lewis, R. J. (2007). Modeling complex systems: gaining valid insights and avoiding mathematical delusions. *Academic Emergency Medicine* 14 (9): 795 - 598.

Mayr, C. (10. Oktober 2009). Lebensgefahr im Happelstadion. *Wiener Zeitung*.

Mentges, D., Kirschenlohr, R., Adamek, H., Boldt, J., & Riemann, J. F. (1997). Der rettungsdienstliche Ablauf bei Großschadensereignissen - Eine Untersuchung von 21 Fällen. *Der Anaesthetist* 46: 114 - 120.

News. (10. August 2004). "Bild des Grauens": Fünf Tote, dutzende Verletzte bei Busunfall nahe Hallein. *News*.

News. (11. November 2002). Bergisel-Drama: Gericht sieht Schuld bei Stadt & Land. *News*.

Pfeiler, H. (27. November 2009). Befragung zu Abläufen in einer SanHiSt. *Rettungskommandant des Arbeiter-Samariter-Bundes, Gruppe 902*. (H. Niessner, Interviewer)

Pfeiler, H. (September 2008). Grundsicherung Katastrophenhilfsdienst. *Schulungsunterlagen des Arbeiter-Samariter-Bundes Wien*.

Rauner, M. (2009). A taxonomy of OR/MS disaster policy models. *Interfaces*, Submitted.

Riener, J. H. (Juni 2007). Die Änderungen beim Patientenleitsystem. *Schulungsunterlagen des Arbeiter-Samariter-Bundes Wien*.

Rossi, R. (1997). Erstversorgung vor Ort oder schnellstmöglicher Transportbeginn? *Der Anaesthetist* 46: 126 - 132.

Rotes Kreuz Steiermark. (1/1999). Die Buskatastrophe. *aktuell – professionel*: 8.

Smith, R. M., & Conn, A. K. (2009). *Injury* 40 (Supplement 4): 23 - 26.

Vemmer, T. (2003). *The Management of Mass Casualty Incidents in Germany - from Ramstein to Eschede*. Norderstedt: Books on Demand GmbH.

XJ Technologies. (2008). AnyLogic Help. Hilfesystem zum Programm AnyLogic.

Ziegenfuß, T. (2007). *Notfallmedizin*. Heidelberg: Springer Medizin Verlag.

3) Internetquellen

Freiwillige Feuerwehr Seewalchen. (2002). *Einsätze 2002*. Abgerufen am 1. Februar 2010 von FF Seewalchen: <http://www.ff-seewalchen.at/html/einsatz/2002/3009.htm>

Magistratsabteilung 51 der Stadt Wien. (2009). *Wiener Praterstadion - Ernst-Happel-Stadion*. Abgerufen am 8. Jänner 2010 von wien.at: Webservice der Stadt Wien: <http://www.wien.gv.at/freizeit/sportamt/sportstaetten/stadien/happel.htm>

Österreichisches Rotes Kreuz. (25. Mai 2007). *Rahmenvorschrift Großunfälle*. Abgerufen am 16. Dezember 2009 von Rotes Kreuz: Vorschriften: <http://vorschriften.rotekreuz.at>

Rotes Kreuz Neunkirchen. (2006). *Aktuelles*. Abgerufen am 1. Februar 2010 von Rotes Kreuz Neunkirchen: <http://www.rk.neunkirchen.at/01aktuel/eisenstadt.htm>

Rotes Kreuz Niederösterreich. (01 2005). *Durchführungsbestimmungen für Großunfälle*. Abgerufen am 16. 12 2009 von http://rk-gerasdorf.at/downloadbereich/Durchfuehrungsbestimmungen_fuer_Grossunfaelle.pdf

4) Interviews

Niessner, G. (20. November 2009). Medizinische Aspekte der SanHiSt. *Leitender Notarzt im Roten Kreuz Tirol*. (H. Niessner, Interviewer)

Pramendorfer, W. (31. Oktober 2009). Medizinische Aspekte der SanHiSt. *Landesarzt des Arbeiter-Samariter-Bundes Niederösterreich*. (H. Niessner, Interviewer)

Steger, M., Fuchs, W., & Stumpf, D. (28. Oktober 2009). Befragung zu Abläufen in einer SanHiSt. *(Stabs-) Bereitschaftsleiter des Arbeiter-Samariter-Bundes, Gruppe 915*. (H. Niessner, Interviewer)

Anhang

A) Zusammenfassung

Auch in Österreich fordern Großschadensereignisse immer wieder viele Todesopfer und zahlreiche Verletzte. Das Vorgehensmodell, nach dem den betroffenen Personen am Ort des Geschehens vom Rettungsdienst geholfen wird, ist österreichweit einheitlich geregelt und in ganz Mitteleuropa ähnlich.

Durch die Unvorhersehbarkeit sowie der Einzigartigkeit dieser Ereignisse und deren Umfeldbedingungen lassen sich kaum allgemeine Aussagen über mögliche Optimierungspotenziale tätigen oder ideale Vorgehensweisen für bestimmte Szenarien festlegen. Dies alles wird nun erstmalig durch die im Zuge dieser Magisterarbeit entwickelten Simulation ermöglicht.

Weiters bietet das Programm durch die Planspiel-Oberfläche zusätzlich eine ausgezeichnete Schulungsmöglichkeit für künftige Führungskräfte, mit deren Hilfe sie sich besser in mögliche Szenarien hineinversetzen, die genauen Abläufe vor Ort kennenlernen und sich auf ihre Verwendung als Einsatzleiter vorbereiten können.

Die Literaturübersicht am Beginn dieser Arbeit zeigt deutlich, dass das Thema „Simulationen im Rettungsdienst“ in der wissenschaftlichen Literatur stark an Aktualität gewinnt. Besonders im Bereich des Massenanfalls von Verletzten, zu welchem auch die hier vorgestellte Simulation zählt, ist noch enormes Forschungs- und Entwicklungspotenzial vorhanden.

B) Abstract

Major incidents in Austria have kept claiming a great number of fatalities and injuries. The procedure model the emergency medical services used to aid the concerned on location is regulated consistently throughout Austria and similar within the entire central european region.

The unpredictable nature of such incidents as well as their uniqueness and peripheral conditions hardly allow for more general statements on potential improvement or an assessment of an ideal approach to certain scenarios. The simulation developed in the course of this thesis now opens this possibility for the first time.

Furthermore, the management game interface of this program additionally offers an excellent way to train future executives, helping them to imagine potential scenarios more vividly, become acquainted with the detailed routines on location and prepare for their employment as operating directors.

The literature survey at the beginning of this thesis clearly indicates that the topic of “simulations in rescue services” is quickly gaining topicality in scientific literature. The field of Mass Casualty Incidents especially, which includes the simulation introduced above, shows enormous capacities in science and development.

C) Lebenslauf

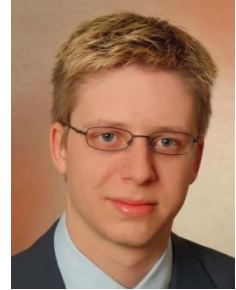
HELMUT NIESSNER

Geburtsdatum: 26. November 1983

Nationalität: Österreich

E-Mail: helmut@niessner.net

Homepage: <http://www.niessner.net>



AUSBILDUNG

- 10/2007 – 02/2010 **Universität Wien: Magisterstudium Betriebswirtschaft**
Kernfachkombinationen: Innovations- und Technologiemanagement, E-Business;
Managementschwerpunkt Projektmanagement;
bisher einmalige Zuerkennung eines Leistungsstipendiums nach StudFG;
- 10/2004 – 06/2007 **Universität Wien: Bakkalaureatsstudium Betriebswirtschaft**
Vertiefung: E-Economy (Business Process Management, Integrierte betriebliche Informationssysteme, Business Intelligence);
Abschluss mit ausgezeichnetem Erfolg;
dreimalige Zuerkennung eines Leistungsstipendiums nach StudFG;
- 09/1998 - 06/2003 **Bundeshandelsakademie Schärding**
Spezialisierung: Wirtschaftsinformatik und Organisation;
Leitung des Maturaprojekts „Neugestaltung des Informationsmanagements für das Frauenhaus Innviertel“;
Matura mit ausgezeichnetem Erfolg;

ARBEITSERFAHRUNG

- 07/2007 – 09/2008 **JADE (Europäischer Dachverband der studentischen Unternehmensberatungen), Brüssel**
Senior IT Project Manager, Leitung eines internationalen Projektteams
- 07/2007 – 10/2007 **Universität Wien, Lehrstuhl für Knowledge and Business Engineering**
Mitarbeit an einem wissenschaftlichen Projekt für das Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung im Bereich E-Learning
- 03/2007 – 06/2007 **Universität Wien, Lehrstuhl für Knowledge and Business Engineering**
Studienassistent; Selbstständige Abwicklung eines Geschäftsprozessmanagement-Projekts

- 09/2006 – 02/2008 **uniforce Junior Enterprise Vienna GmbH**
Studentische Unternehmensberatung;
Mitarbeit im Bereich IT & Services, seit 01/2007 Bereichsleiter;
Mitarbeit und Projektleitung bei diversen IT-nahen Projekten, einem Assessment-Center sowie bei der Organisation eines Events;
Planung einer neuen Software-Infrastruktur für das Unternehmen;
- 04/2004 - 09/2006 **Maier & Niessner Web Info Systems KEG (Kopfung/Innkreis)**
Handels- und gewerberechtlicher Geschäftsführer;
Entwicklung und Betrieb der neuartigen Suchmaschine redball.info;
Planung, Realisierung und Betrieb zahlreicher Internet- und Intranetlösungen für Klein- und Mittelbetriebe für die verschiedensten Anwendungsgebiete (Kundenakquise und –bindung, CRM, CMS, interne Verrechnung, ...);
Beratung für technologiebasierende Unternehmensentwicklung;
- 01/2004 – 05/2004 **Fachambulanz der Sanitätsanstalt Hörsching**
Umstellung der Organisationsstruktur sowie Erstellung eines Datenbank-Systems in MS Access im Rahmen des Präsenzdienstes als Sanitäter
- 11/2001 - 04/2004 **Selbstständig**
Programmierung von Datenbank-basierenden Homepages mit Perl und MySQL im gesamten deutschsprachigen Raum

WEHRDIENST

10/2003 - 05/2004 **Fliegerregiment 3, Hörsching – Sanitäter**

SPRACHEN

Deutsch	Muttersprache
Englisch	Fließend
Französisch	Matura-Niveau

SONSTIGE KENNTNISSE UND INTERESSEN

EDV	Ausgezeichnete Kenntnisse in allen MS Office Programmen sowie der Datenbank-Konzeptionierung; Erfahrungen mit MS Access, MySQL, Perl, PHP, Ruby on Rails, HTML, Typo3, SPSS, Adonis (Geschäftsprozessmanagement), AdoSCORE (Balanced Scorecard) und AnyLogic (Simulation);
Erfahrungen	Praxiserfahrungen in den Bereichen Organisation und Projektmanagement; Beratungserfahrung im Technologie-Bereich; Event-Management-Erfahrungen;
Engagement	Ehrenamtlicher Rettungssanitäter (Gruppenleiter)
Sport	Segeln, Laufen