

# Masterarbeit

Andreas Löffler

Smart Rescue im urbanen Raum: Ein agentenbasiertes  
Modell mit MARS zur Bestimmung der Helferanzahl  
innerhalb Hamburgs

Andreas Löffler

# Smart Rescue im urbanen Raum: Ein agentenbasiertes Modell mit MARS zur Bestimmung der Helferanzahl innerhalb Hamburgs

Masterarbeit eingereicht im Rahmen der Masterprüfung  
im Studiengang Master of Science Informatik  
am Department Informatik  
der Fakultät Technik und Informatik  
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer: Prof. Dr. Thomas Clemen  
Zweitgutachter: Prof. Dr.-Ing. Marina Tropmann-Frick

Eingereicht am: 19. September 2019

**Andreas Löffler**

**Thema der Arbeit**

Smart Rescue im urbanen Raum: Ein agentenbasiertes Modell mit MARS zur Bestimmung der Helferanzahl innerhalb Hamburgs

**Stichworte**

Smarte Rettung, Mikrosimulation, Fußgängersimulation, Helferanzahl, Abdeckung, Abdeckungsrate

**Kurzzusammenfassung**

Die vorliegende Arbeit thematisiert das Konzept Smart Rescue durch Simulation. Es wird ein Fußgängermodell entwickelt, welches die Untersuchung des Smart Rescue Ansatzes in einem Subbereich eines urbanen Raums zulässt. Es wird anhand der Simulation eine Helferanzahl zur Abdeckung von 95% der generierten Einsätze empirisch ermittelt. Das Fußgängermodell bezieht sowohl durch Studien aufgestellte Statistiken sowie demographische Daten, als auch geospatiale Daten für die realistischere Darstellung mit ein.

**Andreas Löffler**

**Title of Thesis**

Smart Rescue in urban areas: An agent-based model with MARS for determining the number of helpers within Hamburg

**Keywords**

Smart Rescue, micro simulation, pedestrian simulation, count of helping volunteers, coverage, cover rate

**Abstract**

The topic of the thesis deals with the concept Smart Rescue by simulation. A pedestrian model will be developed, which allows the investigation of the Smart Rescue approach in a sub-area of an urban space. Based on the simulation, a number of helpers to cover

---

95% of the generated missions is determined empirically. The pedestrian model includes study-based statistics and demographic data, as well as geospatial data for more realistic representation.

# Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Masterarbeit unterstützt und motiviert haben. Zuerst möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Thomas Clemen bedanken, der meine Masterarbeit betreut und begutachtet hat. Für die vielen hilfreichen Anregungen und die konstruktive Kritik auf dem Weg zu und während dieser Arbeit möchte ich mich herzlich bedanken. Auch bedanken möchte ich mich, bei Frau Prof. Dr.-Ing. Marina Tropmann-Frick, die meine Masterarbeit als Zweitprüferin betreut und begutachtet hat. Abschließend möchte ich mich bei meiner Familie, insbesondere meinen Eltern, meiner Schwester und meiner Frau bedanken, die mir mein Studium durch ihre Unterstützung zum einen ermöglicht haben und zum anderen zu jederzeit ein offenes Ohr für mich hatten.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>ix</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>xi</b>
<b>Listings</b>	<b>xii</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Forschungsfrage und Hypothesen . . . . .	3
1.2 Struktur der Arbeit . . . . .	4
<b>2 Grundlagen und Methodik</b>	<b>5</b>
2.1 Smart Rescue . . . . .	5
2.2 Methode Simulation . . . . .	8
2.2.1 Ansatz Mikrosimulation . . . . .	10
2.2.2 PTV Viswalk . . . . .	11
2.2.3 MARS . . . . .	12
2.3 Parametrisierung eines Fußgängers im Kontext Smart Rescue . . . . .	12
2.4 Verfeinerung mittels geospatialer Daten . . . . .	15
2.5 Generierung von Bewegungsverhalten eines Agenten . . . . .	16
<b>3 Analyse</b>	<b>19</b>
3.1 Status quo . . . . .	19
3.2 Erweiterte Anforderungen durch Smart Rescue . . . . .	20
3.2.1 Erweiterung der funktionalen Anforderungen . . . . .	22
3.3 Abgrenzungen . . . . .	23
<b>4 Design und Implementierung</b>	<b>25</b>
4.1 Architektur des Status quo Modells . . . . .	25
4.1.1 Übergeordnetes fachliches Datenmodell . . . . .	25
4.1.2 Komponenten des Status quo Modells . . . . .	26

4.2	Erweiterung des Modells . . . . .	31
4.2.1	Heatmaps als Grundlage der Alarmierung . . . . .	32
4.2.2	Implementierung EmergencyLayer . . . . .	34
4.2.3	Implementierung Helfer (Smarter Retter) . . . . .	38
<b>5</b>	<b>Experimente</b>	<b>41</b>
5.1	Simulierter Bereich . . . . .	41
5.2	Experimente der Hypothese H1 . . . . .	42
5.2.1	Geschwindigkeit des Fußgängers . . . . .	42
5.2.2	Zielauswahl des Fußgängers . . . . .	43
5.2.3	Tagesrhythmus der Agenten . . . . .	43
5.2.4	Gesamtverhalten der Agenten . . . . .	44
5.3	Experimente der Hypothese H2 . . . . .	45
5.3.1	Initiale Berechnung der Helfer . . . . .	45
5.3.2	Erhöhung der Helferanzahl . . . . .	46
5.3.3	Simulation der gesamten Bevölkerung Altonas . . . . .	47
<b>6</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>48</b>
6.1	Ergebnisse Hypothese H1 . . . . .	49
6.1.1	Geschwindigkeit des Fußgängers . . . . .	49
6.1.2	Zielauswahl des Fußgängers . . . . .	51
6.1.3	Tagesrhythmus der Agenten . . . . .	52
6.1.4	Gesamtverhalten der Agenten . . . . .	54
6.2	Ergebnisse Hypothese H2 . . . . .	55
6.2.1	Schritte 1 und 2 . . . . .	55
6.2.2	Schritt 3 . . . . .	56
<b>7</b>	<b>Diskussion</b>	<b>58</b>
7.1	Hypothese H1 . . . . .	59
7.2	Hypothese H2 . . . . .	61
7.3	Zusammenfassung . . . . .	62
<b>8</b>	<b>Ausblick</b>	<b>66</b>
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>74</b>
A.1	Entscheidungsbäume Tagesablauf . . . . .	74
A.2	Diagramme Tagespläne . . . . .	75

A.3 Datenträger . . . . .	76
<b>Selbstständigkeitserklärung</b>	<b>77</b>

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Eingliederung von Smart Rescue in die Rettungskette. . . . .	6
2.2	Zusammenhang der drei verschiedenen Simulationsarten. Quelle: [37] Abb. 3-3 . . . . .	9
2.3	Tagesablauf eines Vollzeitbeschäftigten. . . . .	18
3.1	Problematik einer Umkreisalarmierung [27]. . . . .	22
4.1	Übergeordnetes fachliches Datenmodell der Smart-Open-Hamburg Simulation. . . . .	26
4.2	Komponenten des Fußgängermodells der Arbeiten [29] und [30]. . . . .	28
4.3	Design der Erweiterung nach den Anforderungen aus 3.2. . . . .	32
4.4	Heatmap in der Zeit von 6 bis 7 Uhr für den Bereich Altona generiert durch das GIS QGIS. . . . .	33
4.5	Verteilung aller Einsätze eines Tages am Beispiel der Heatmap von 6 Uhr morgens. . . . .	39
5.1	Stadtbezirk Altona der Hansestadt Hamburg (Quelle: Google Maps) . . . .	41
6.1	Geschwindigkeitsverteilung der Agenten für das Gehen. . . . .	50
6.2	Geschwindigkeitsverteilung der Agenten für das Rennen. . . . .	50
6.3	Agenten suchen Ziele nach eigenem Handlungsbedarf. . . . .	51
6.4	Wegzweck der in der Studie <i>Mobilität in Deutschland</i> [11] befragten Personen in Abhängigkeit zur Uhrzeit. . . . .	52
6.5	Start- und Endzeiten der Aktion <i>work</i> generiert durch die Klasse <i>Dayplan</i> . . . . .	53
6.6	Anzahl arbeitender Agenten in Abhängigkeit zur Uhrzeit. . . . .	53
6.7	Verteilung der Agenten über einen Tag innerhalb eines überwiegend zum Wohnen genutzten Bereiches. . . . .	54
6.8	Verteilung der Agenten über einen Tag innerhalb eines Misch-Bereiches. . . . .	55
6.9	Empirische Ermittlung einer Helferanzahl für den Stadtteil Altona. . . . .	56
6.10	Auszug aus der Abbildung 6.9 im Bereich 5738 bis 5740 Agenten. . . . .	57

6.11 Ergebnis der zweimaligen Simulation mit 270263 Agenten (davon 5739 Helfer). . . . .	57
A.1 Tagesablauf eines Teilzeit-Erwerbstätigen. . . . .	75
A.2 Tagesablauf eines Nicht-Erwerbstätigen. . . . .	75

# Tabellenverzeichnis

6.1	Desktop-System für Agentenzahlen bis 10000 . . . . .	48
6.2	Desktop-System für Agentenzahlen ab 10000 . . . . .	48

# Listings

4.1	Generierung von Einsätzen . . . . .	34
4.2	Randomisierte Generation einer Sekundenanzahl . . . . .	35
4.3	Tick()-Methode des Emergencylayers. . . . .	36
4.4	Methoden zur Alarmierung eines Helfers . . . . .	39
4.5	Erweiterung der Reason()-Methode des Citizen-Agent . . . . .	40

# 1 Einleitung

Jedes Jahr erleiden 30 bis 90 Personen pro 100.000 Einwohner außerhalb des Krankenhauses einen Herz-Kreislauf Stillstand [3]. Dies entspricht ca. 50.000 Herz-Kreislauf Stillständen pro Jahr in Deutschland [3]. Laut Statistik sinkt ab dem Zeitpunkt des Erleidens eines Herz-Kreislauf-Stillstandes die Überlebenschance um 7-10% pro Minute [35].

Für jedes Bundesland wird zu Planungs- und Qualitätszwecken eine Hilfsfrist<sup>1</sup> für Einsätze der Feuerwehr und des Rettungsdienstes erhoben. Die Stadt Hamburg nennt öffentlich eine Hilfsfrist von acht Minuten für Rettungswagen (RTWs)[20]. Bei jedem Einsatz des Rettungsdienstes werden die genauen Anfahrtszeiten sowie „Vor-Ort“Zeiten gemessen und schriftlich im Einsatzprotokoll dokumentiert. Auf die erfassten Anfahrtszeiten wird ein Erreichungsgrad hinsichtlich der Hilfsfrist errechnet. Im Jahr 2017 lag der Erreichungsgrad für einen RTWs bei ca. 65% [4]. Dies bedeutet, dass bei gerundeten 250.000 Rettungsdiensteinsätzen ca. 10 von 28 Einsätzen die Stunde nicht innerhalb der angegeben acht Minuten erreicht werden können [18]. Patienten, die durch einen Herz-Kreislauf Stillstand ihre Organe nicht mehr mit dem lebenswichtigen Sauerstoff versorgen können, bedeutet dies, dass bereits nach drei Minuten irreparable Schäden an Organen bzw. am Gehirn entstehen [3][35]. Nach fünf Minuten kann der Tod eintreten. Nach zehn vergangenen Minuten ist der sichere Tod eingetreten [3][35]. Bei einem 65%igen Erreichungsgrad der Hilfsfrist besteht für reanimationspflichtige Patienten eine sehr geringe bis gar keine Überlebenschance.

Die Unterstützung bzw. Optimierung des Rettungswesens ist in der Informatik durch ein breites Spektrum vertreten. Hierzu zählen unter Anderem die Erforschung von *Evakuierungen, Paniksituationen, Massenkatastrophen, emergentes Verhalten* (beispielsweise in Verkehrswellen oder Engstellen in Gebäuden), *komplexes Verhalten* in Bezug auf Sozialverhalten und Psyche, *spezifische Szenarien* und *Kollisionsvermeidung und Routenfindung innerhalb von Gruppen* uvm. [31]. Das Thema Smart Rescue ist im Bereich der

---

<sup>1</sup>Hilfsfrist - Unter Hilfsfrist wird die Zeit verstanden, die vom Notrufeingang bis zum Eintreffen von Rettungsmitteln am Einsatzort vergeht

*spezifischen Szenarien* einzuordnen. Smart Rescue umfasst Themen von der Unterstützung von Einsatzkräften in Gefahrenlagen, bis hin zur Einbindung von Freiwilligen bzw. medizinisch aus- oder weitergebildeten Menschen in die Rettungskette. Aktuelle Fragestellungen aus dem Bereich zielen auf die Erforschung von sogenannten *Smart Cities* ab [40]. Hierbei werden Sensordaten gesammelt, die durch Menschenmassen (beispielsweise durch Smartphones) oder speziell dafür eingesetzte Sensoren generiert werden. Hierdurch sollen Systeme entwickelt werden können, die zur Verbesserung verschiedenster Motivationen eingesetzt werden können. Beispiele wären hier Lagebilder, Notrufsysteme und/oder Hilfssysteme [40][41]. Smarte Rettungssysteme, welche Verunfallten schneller helfen, oder sogar selbst Unfälle erkennen, werden in den Publikationen von Mokryn et al. und Jeyanthi et al. präsentiert [33][26]. Mokryn et al. zielen darauf ab, die Kommunikation im Katastrophenfall via Smartphone zu verbessern. Hierzu wurde das sogenannte *HelpMe* System entwickelt [33]. Dieses ist ein selbstlernendes Ad-hoc-System mit opportunistischem Verhalten, welches Ad-hoc Kommunikation via WLAN über das eigene Smartphone ermöglicht [33]. Jeyanthi et al. versuchen hingegen das Smartphone als Sensor zur Erkennung von Stürzen zu nutzen, um bei Bedarf einen Notruf inklusive Standortübertragung abzusetzen [26]. Die Einbindung Freiwilliger in das Rettungssystem, um Rettungszeiten im Katastrophenfall zu verkürzen, wurde im *International Journal of information System for Crisis Response and Mangement*-Journal von Detjen et al. vorgestellt [9]. Die Publikation handelt davon inwieweit Freiwillige über ihr Smartphone alarmiert werden und im Katastrophenfall die Rettungskräfte bei Such- oder Bergungsarbeiten unterstützen können. In vielen urbanen Räumen (hier am Beispiel der Hansestadt Hamburg) existiert heute eine Vielzahl von negativ beeinflussenden Faktoren auf die Rettung eines Menschen. Hierzu zählen unter Anderem Einsparungen im Rettungswesen, erhöhtes Einsatzaufkommen durch „belanglose“ Einsätze und enormes Verkehrsaufkommen [13][38]. Dies führt dazu, dass bei Notfällen, wie beispielsweise einem gewöhnlichen Herzinfarkt, ein Patient teilweise über acht Minuten auf Hilfe warten muss (vgl. [4] und [13]). Bestehende Konzepte, wie EMuRgency oder Meine-Stadt-Rettet (siehe Kapitel 2 Abschnitt 2.1) wollen diesen Problemen entgegen wirken, indem Freiwillige mit medizinischem Hintergrund im Bedarfsfall mit in die Rettung des Menschen eingebunden werden. Über Smartphones sollen Personen im Notfall alarmiert werden können, um dem Patienten schnellstmöglich Hilfe zu leisten.

## 1.1 Forschungsfrage und Hypothesen

Heutzutage ist es bereits möglich, Freiwillige in die Rettungskette mit einzubinden (vgl. laufende Modelle der Smarten Rettung). Die genannten sowie Andere auf diesem Prinzip basierende Systeme fordern medizinische ausgebildete, freiwillige Helfer. Beim Einsatz des Smart Rescue Modells sind allerdings noch keine Aussagen über die benötigte Anzahl an Helfern möglich.

Daher ist das Ziel der vorliegenden Arbeit, die notwendige Helferanzahl am Beispiel des Stadtteils Altona der Hansestadt Hamburg empirisch zu ermitteln, die bei einem Notruf innerhalb von drei Minuten am Einsatzort sein kann. Nach drei Minuten können bereits irreparable Folgeschäden entstehen [3][35].

In früheren Arbeiten (vgl. [29] und [30]) wurde bereits ein Fußgängermodell entwickelt, welches die Bewegung von beliebig vielen Fußgängern innerhalb einer vorgegebenen Straßeninfrastruktur ermöglicht. Diese werden anhand von statistischen, demographischen und geospatialen Daten simuliert. Der Fokus innerhalb des Modells liegt hierbei auf der durch die Agenten erzeugten Dynamik innerhalb eines Stadtteils.

Für die Zielsetzung dieser Arbeit sind hinsichtlich der Smarten Rettung folgende Hypothesen aufgestellt worden:

**H1** Das bereits entwickelte Modell kann genutzt werden, um das Szenario Smart Rescue zu untersuchen.

**H2** Ein Schwellwert zur Erfüllung von 95% erfolgreich bedienter Einsätze durch freiwillige Helfer kann ermittelt werden.

Das Gesamtverhalten der einzelnen Agenten innerhalb eines urbanen Bereiches ist für das Modell Smart Rescue wichtig. So wie in der Realität ist sowohl die Verfügbarkeit von Helfern als auch das Einsatzaufkommen in Ballungsräumen höher. Ebenfalls ist die Geschwindigkeit eines Einzelnen im Einsatzfall von Bedeutung, da der zeitliche Rahmen von drei Minuten für Smart Rescue entscheidend ist (siehe 2.1). Anhand der Hypothese H1 das Modell bzw. das Verhalten der Agenten für das Smart Rescue Modell getestet. Durch die Hypothese H2 wird überprüft, ab welcher Helferanzahl der Schwellwert für den geforderten Wert von 95% überschritten wird.

## 1.2 Struktur der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich in sieben Teile. Im ersten Teil werden die Grundlagen der Arbeit dargelegt. Hierzu zählt unter Anderem die Erläuterung von Smart Rescue im Detail, sowie die Erörterung des gewählten Simulationsansatzes der Methode Simulation. Anschließend wird eine Zusammenfassung der Grundlagen zur Darstellung eines Fußgängers innerhalb einer Simulation auf Basis des in [29] und [30] entwickelten Modells gegeben. Im Analyseteil dieser Arbeit werden neben dem Status quo des bestehenden Modells die Erweiterungen für den Anwendungsfall Smart Rescue erläutert. Das Kapitel 4 beschreibt das Design des bestehenden Modells, sowie die Integration der Erweiterung für Smart Rescue. Darüber hinaus wird die Komponente zur Alarmierung von Agenten im Smart Rescue Kontext erläutert. Die Kapitel 5 und 6 stellen Experimente und Ergebnisse dar, die hinsichtlich der Zielsetzung (vgl. 1) anschließend in Kapitel 7 diskutiert werden. Abschließend findet sich eine Zusammenfassung (7.3) der vorliegenden Arbeit sowie der Ausblick (Kapitel 8) auf zukünftige Weiterentwicklungen.

## 2 Grundlagen und Methodik

Das folgende Kapitel beschreibt die Grundlagen dieser Arbeit. Der Begriff Smart Rescue wird erläutert und es werden Gründe aufgezeigt, warum Smart-Rescue in der heutigen Gesellschaft in Großstädten wie Hamburg wichtig ist. Des Weiteren wird eine Zusammenfassung über Eigenschaften eines Fußgängers sowie raumbezogene, demografische und statistische Daten gegeben, anhand derer mittels Simulation der Fußgänger im Hinblick auf die in 1.1 gestellten Hypothesen untersucht wird.

### 2.1 Smart Rescue

Die in der Einleitung (siehe 1) aufgezeigten Problematiken, die zu einer niedrigen Überlebenschance von Patienten mit Herz-Kreislauf-Stillstand führen, haben in der Vergangenheit eine Vielzahl von Rettungssystemen ins Leben gerufen. Diese Systeme haben alle das Ziel die Zeit bis zum Eintreffen eines Helfers/Retters zu minimieren und so die Überlebenschance eines Patienten zu erhöhen bzw. die Folgeschäden zu minimieren.

Das Modell Smart Rescue setzt hierbei auf die Hilfe von Freiwilligen, in der Nähe befindlichen Helfern auf [14][16][47][55]. Einige bereits existierende Projekte lassen ausschließlich medizinisch ausgebildetes Fachpersonal zu, Andere hingegen integrieren Laien, die durch gezielte Schulungen die Reanimation erlernen [14][57][47]. Das Ziel von Smart Rescue ist es, die Zeit zwischen Auftreten eines plötzlichen Herz-Kreislauf-Stillstandes und den lebensrettenden Sofortmaßnahmen zu verringern [16][28][46][57]. Das Konzept des Smart Rescue ist eine zusätzliche Unterstützung in der Rettungskette und ersetzt keine bisherigen Maßnahmen. Die freiwilligen Helfer werden bei Eingang eines Notrufes in der Leitstelle zusätzlich alarmiert. Die Abbildung 2.1 zeigt den Vorteil des Smart Rescue Modells innerhalb der Rettungskette. Die Rettungskette stellt den zeitlichen Verlauf einer Hilfeleistung am Einsatzort dar [12]. Beginnend mit dem Auffinden einer betroffenen Person und der einhergehenden Eingsicherung bzw. Absicherung wird der Notruf

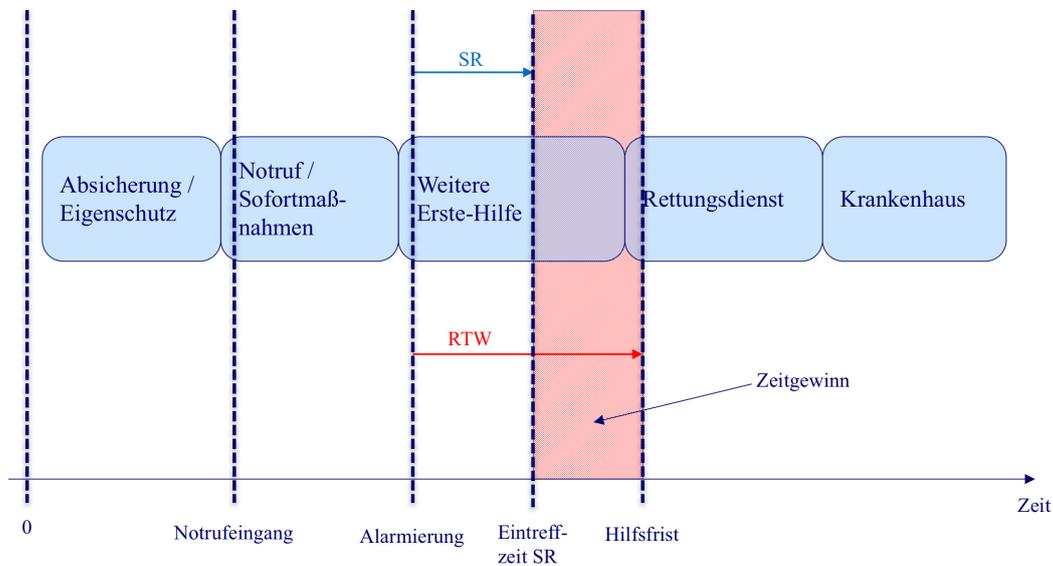


Abbildung 2.1: Eingliederung von Smart Rescue in die Rettungskette.

abgesetzt [12]. Mit Absetzen des Notrufes werden neben dem Rettungswagen zusätzlich ein oder mehrere freiwillige Helfer alarmiert, die sich in unmittelbarer Umgebung zum Einsatzort befinden. Der in der Abbildung 2.1 rot gekennzeichnete Bereich, verdeutlicht den Zeitvorteil, welcher durch die zusätzliche Alarmierung von Freiwilligen entsteht. Der Freiwillige Helfer beginnt bei seinem Eintreffen sofort (falls noch nicht durch den Notrufabsetzenden geschehen) mit den lebensrettenden Sofortmaßnahmen. Diese werden bis zum Eintreffen des Rettungsdienstes fortgeführt.

Die Alarmierung eines jeden Freiwilligen geschieht in den heute existierenden System über das eigene Smartphone [14][47]. Jeder Helfer kann auf seinem Smartphone eine Applikation (App) installieren, welche durch die Projektleitung der verschiedenen Anbieter bereitgestellt wird. Die verwendete App ist über eine Schnittstelle an die jeweiligen teilnehmenden Leitstellen angebunden. Bei Notrufeingang kann der Disponent in der Leitstelle entscheiden, ob zusätzlich Freiwillige zu dem Rettungswagen alarmiert werden sollen [14]. Ist dies der Fall, wird über die Standortbestimmung von jedem Smartphone der Standort eines jeden Helfers in einem Umkreis um den Einsatzort bestimmt. Anschließend werden Routen ausgehend vom Standort zum Einsatzort errechnet. Erfüllen diese Routen bestimmte Kriterien, wie beispielsweise eine Zeitvorgabe, wird der Freiwillige alarmiert [14][16][28]. Dieser kann nun entscheiden, ob der Einsatz angenommen oder abgelehnt wird (beispielsweise bei Verstoß gegen eigene Rechte und Pflichten, wie

die Aufsichtspflicht [45]). Bei Annahme des Einsatzes erhält der Helfer Informationen über den Ort und den Patienten. Anhand der errechneten Route wird der Helfer auf schnellstmöglichem Weg zum Patienten geleitet.

Im Folgenden werden zwei Smart Rescue Projekte kurz vorgestellt. Das Projekt *EMuRgency* stellt hierbei das Ursprungsprojekt dar. *Meine-Stadt-Rettet* hingegen ist ein aktuell eingesetztes.

### **EMuRgency**

Das Forschungsprojekt EMuRgency (EMR) wurde 2011 ins Leben gerufen und bis einschließlich 2014 entwickelt und getestet [27]. Initiiert und geleitet wurde das Projekt durch die Open Universiteit Nederland. Beteiligt waren Partneruniversitäten und Kliniken aus der Euregio-Rhein-Maaß Region. Dazu zählten die University Hospital Aachen, RWTH Aachen, KU Leuven, Hospital Citadelle, Centre de Coopération technique et pédagogique, Ziekenhuis Oost-Limburg und die Maastricht University Hospital [28]. Finanziert wurde das Projekt durch den Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) [27][28].

Während der Projektphasen konnten sich freiwillige Laienhelfer über die für das Projekt entwickelte App und/oder Internetseite registrieren und daran teilnehmen. Das Forschungsziel des Projekts war die Frage, ob die Laienhelfer in nachgestellten Szenarien schneller als der Rettungsdienst am Notfallort eintreffen würden. Zur Nachstellung der einzelnen Szenarien wurden vorhergegangene, protokollierte Einsatzdaten von Herz-Kreislauf-Stillständen als Grundlage genommen [27][28][39]. Die spätere Ausbildung sollte durch Erste-Hilfe-Kurse und Lehrvideos, die jederzeit zu Verfügung stehe würden, erfolgen [27]. Es wurden daher im Rahmen des Forschungsprojekts ebenfalls Ideen zur optimalen Ausbildung gesammelt (wie beispielsweise Lehrvideos) und beschrieben, allerdings nicht umgesetzt, da das Projekt nach Ablauf nicht weiter fortgeführt wurde.

Das Ergebnis des Projekts war, dass in 45% der nachgestellten Einsätze die Freiwilligen Helfer schneller am Einsatzort waren als der Rettungsdienst. Somit hätte in 45% der Fälle eine schnellere Hilfeleistung erfolgen können [28][39]. Aufgrund der nachgestellten Situationen liegen keine Zahlen über höhere Überlebenschancen bzw. Minimierung der Folgeschäden vor.

### **Meine-Stadt-Rettet**

Bei *Meine-Stadt-Rettet* handelt es sich um eine kostenlose Ersthelfer-Applikation, die das Konzept von Smart Rescue implementiert. Die App wurde im Rahmen eines Projektes des Universitätsklinikums Schleswig-Holstein, Herzzentrums Lübeck, Institut für Rettungs- und Notfallmedizin, Universität Lübeck, AG Rhythmologie der deutschen Gesellschaft für Kardiologie, UKSH Förderstiftung und der European Heart Rythm Association entwickelt [14]. Die App ist bereits in mehreren Landkreisen und Bundesländern Deutschlands erfolgreich im Einsatz. In Schleswig-Holstein konnte bereits in 35% aller alarmierten Fälle, in denen Freiwillige mit alarmiert wurden, der Einsatzort drei Minuten vor Eintreffen des Rettungsmittels erreicht werden [10].

Wie auch in anderen Projekten kann jeder, der medizinisches Hintergrundwissen vorweisen kann, an dem Projekt teilnehmen. Für Laien ohne Hintergrundwissen werden von Kooperationspartnern Weiterbildungskurse angeboten, in denen die Reanimation gelehrt wird. Jeder registrierte und verifizierte Nutzer kann im Notfall von der jeweilig zuständigen Leitstelle alarmiert werden [14]. Hierfür wird, analog zu anderen Modellen, der Standort jedes Helfers in Echtzeit verfolgt. Es erfolgt bei Erfüllung bestimmter Kriterien, wie Abstand, Zeit oder in der Nähe eines nahegelegenen Defibrillator, die Alarmierung. Der Disponent kann über die im Hintergrund laufende Software den verschiedenen Helfern Aufgaben zuweisen, um so die Hilfeleistung zu beschleunigen. Beispielsweise kann bei einer Alarmierung von zwei Helfern einer zum nächstgelegenen Defibrillator und anschließend zu Einsatzstelle geschickt werden, während der Andere direkt zum Einsatzort navigiert wird [14]. Nach getaner Hilfeleistung wird jeder Helfer zur Protokollierung des Einsatzes aufgefordert. Die Protokolle sind in Anlehnung an das europäische Reanimationsregister gestaltet[14]. Alle erfassten Reanimationen werden ebenfalls in diesem Reanimationsregister erfasst[14].

## **2.2 Methode Simulation**

Die Simulation ist eine gängige Methode, Lösungen für bestehende Probleme aus dem realen Umfeld zu finden. Mit der Methode Simulation können abstrahiert von der Realität, Modelle erstellt und getestet werden[7][48]. Vorteile einer Simulation sind die schnelle, effizientere und kostengünstigere Lösungsfindung bzgl. eines Problems[7][48]. Oftmals

können in Simulationen getestete Modelle nur in Simulationsumgebungen getestet werden, da in der Realität nicht alle Parameter beeinflusst werden können oder die Beeinflussen dieser Parameter zu große Gefahren bringen würden[48]. Die Simulation bietet durch ihre Flexibilität eine geeignete Methode nahezu alle Szenarien, welche durch Logik beschrieben werden können, abzubilden.

Simulationen werden in makro-, mikro- und mesosimulation unterschieden [7][48]. Die Differenzierung zwischen den drei verschiedenen Typen verdeutlicht die Abbildung 2.2. Die Makrosimulation ist eine im Vergleich nicht rechenintensive Simulation zum Identifi-

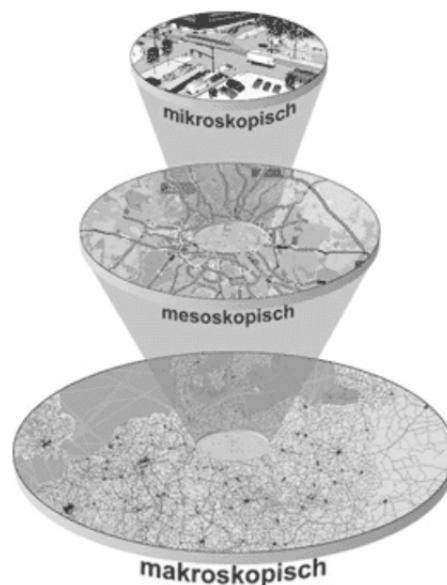


Abbildung 2.2: Zusammenhang der drei verschiedenen Simulationsarten. Quelle: [37]  
Abb. 3-3

zieren von Problemen. Der Simulationstyp arbeitet nach dem *Top-Down* Ansatz. Es wird bei einer Makrosimulation stark abstrahiert und auf Basis von Durchschnittswerten und zusammengefasster Größen gearbeitet. Bei Verkehrssimulationen werden beispielsweise mit der durchschnittlichen Geschwindigkeit aller Verkehrsteilnehmer auf einer Straße Berechnung angestellt und nicht mit Einzelgeschwindigkeiten jeden Verkehrsteilnehmers. Die Makrosimulation betrachtet große Bereiche (vgl. Abbildung 2.2) und lange Zeitspannen.

Die Mikrosimulation hingegen arbeitet nach dem *Bottom-up* Ansatz. Hier werden einzel-

ne Elemente der Simulation mit hoher Genauigkeit modelliert und simuliert (Hier würde mit der Einzelgeschwindigkeit jeden Verkehrsteilnehmer Berechnungen angestellt werden).

Die Mesosimulation vermischt beide Typen miteinander und ermöglicht es somit einen größeren Bereich zu simulieren, aber dennoch mit einer gewissen Detailunschärfe (Abstraktionsniveau) zu simulieren.

### 2.2.1 Ansatz Mikrosimulation

Das bereits für diese Arbeit in [29] und [30] entwickelte Fußgängermodell, basiert auf einem mikroskopischen, agentenbasierten Ansatz. Die Mikrosimulation stellt mit ihrem *Bottom-up* Ansatz das Gegenstück zur Makrosimulation dar [7]. Nach Clarke [6] prägen die Modellansätze des zellulären Automaten sowie die der agentenbasierten Simulation die heute grundlegenden Ansätze der Mikrosimulation.

#### Zelluläre Automaten

Zelluläre Automaten werden als Quadrupel beschrieben.

$$Z = (R, N, Q, \delta) \tag{2.1}$$

mit

$$\delta : Q^N \rightarrow Q \tag{2.2}$$

Dabei ist  $R$  der Zellularraum,  $N$  die endliche Nachbarschaft,  $Q$  die Zustandsmenge und  $\delta$  die Übergangsfunktion. Der zelluläre Automat unterteilt die Umgebung in Zellen, welche den Zellularraum ergeben. Jede Zelle ist mit einem Zustand belegt und repräsentiert etwas aus der Umgebung [32]. Dabei kann die Zelle eine Person, den leeren Raum oder Objekte enthalten. Auf Basis eines Regelwerks (Übergangsfunktion), des aktuellen Zustands der Zelle und der Zustände der Nachbarschaftszellen wird der nächste Zustand einer jeden Zelle errechnet.

Der Ansatz des zellulären Automaten ist ein simpler und flexibler Ansatz, der in grundlegenden Modellen zur Repräsentation von motorisiertem Verkehr, wie beispielsweise im Nagel-Schrecken-Modell Anwendung findet [32][37].

### Agentenbasierte Modelle

Agentenbasierte Modelle unterscheiden sich vom Zellulären Automaten (ZA) dahingehend, dass jeder Agent ein eigenes autonomes System bildet, welches die Fähigkeit besitzt mit der Umgebung oder anderen Agenten zu interagieren. Der ZA hingegen basiert, wie oben beschrieben, auf Zellen, die lediglich durch ihre Nachbarzellen und Übergangsfunktion beeinflusst werden können. Agenten bewegen sich zudem meist in einem größeren Maßstab. Ein ZA arbeitet reaktiv während ein Agent nach der Definition 2.3.3 von Dallmyer [7] autonom, sozial, reaktiv und/oder proaktiv arbeiten kann. Agentenbasierte Modelle finden typischerweise Anwendung im Bereich der Fußgängersimulation [7]. Fußgänger weisen eine hohe Anzahl an verschiedenen Einflussgrößen auf, die individuell abgebildet werden müssen. Beispiele sind Größen wie Körpergröße, Körperproportionen, Alter, Geschlecht und Geschwindigkeit.

Beide der beschriebenen Ansätze können aufgrund ihres Abstraktionsniveaus (Komplexität) sehr rechenintensiv sein. Für größere und einfacherer Simulationen von Fuß-Verkehr werden anderen Modelle, wie beispielsweise das *Social Force Modell* (vgl. [29] Kapitel 2.2.2 Abschnitt Social Force Model) verwendet.

#### 2.2.2 PTV Viswalk

Einer der führenden Hersteller für Simulationswerkzeuge im Bereich Fußgänger-Verkehr ist die Planung Transport Verkehr (PTV) AG. Das Softwareunternehmen aus dem Raum Karlsruhe wurde 1979 gegründet [56]. Die Aktiengesellschaft ist ein Teil des Porsche-Konzerns, welche in den Geschäftsfeldern Verkehrsprogramme, Transportberatung und Logistikprogramme vertreten ist [56]. Die PTV bietet kommerziell diverse Simulationssoftwares an, mit der nahezu jeder beliebige Verkehrsteilnehmer simuliert werden kann. Dies sind nach eigenen Angaben motorisierter Individualverkehr, Güterverkehr, schienen- und straßengebundener öffentlicher Verkehr, Fußgänger und Fahrradfahrer [56]. Die Simulationssoftware der PTV Group wird zahlreich eingesetzt und ist nach eigenen Angaben seit 2015 Weltmarktführer im Bereich Verkehrsmodellierung [56].

Mit PTV Viswalk bietet die AG eine Software mit mikroskopischem Simulationsansatz an [56]. Wie eine Vielzahl von mikroskopischen Simulationsmodelle kann mit Hilfe der Software eine Standortplanung, Veranstaltungsplanung oder eine Evakuierungsanalyse durchgeführt werden [36]. Hierbei basieren Bewegungen von Fußgängern auf dem oben erwähnten *Social Force Model* (SFM) nach Helbing und Molnar (vgl. [22])[36].

### 2.2.3 MARS

MARS ist eine Forschungsgruppe der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg. Die Abkürzung MARS steht für *Multi-Agent Research and Simulation*. Die Gruppe befasst sich mit agentenbasierter Modellierung und Simulation. Dabei werden Modelle zu diversen Themen aus unterschiedlichsten Bereichen, wie Sozioökologie, Verkehr und Ausbreitung von Krankheiten entwickelt und untersucht [5]. Beispielm Modelle sind u.a. die Modelle *Savannah Ecology* von Ulfia Lenfers oder *Spread of pathogens in public transport* von Carsten Noetzel. Darüber hinaus entwickelt die Forschungsgruppe eine eigene Sprache zur Beschreibung von Modellen (siehe [21] Features/Domain-specific language (DSL)) sowie ein eigenes Framework zur Entwicklung weiterer Modelle [5][23][24]. Das Framework bietet die Möglichkeit verteilt und hoch skalierbar Simulationen von agentenbasierten Modellen durchzuführen [23][24].

Einer der Forschungskernpunkte innerhalb der Gruppe ist die Verkehrssimulation. Das aktuelle Projekt *Smart Open Hamburg* (<http://www.smartopenhamburg.de/>) beschäftigt sich mit der multi-modalen Verkehrssimulation. Im Rahmen dieses Projekts wurde das in den Arbeiten [29] und [30] entwickelte Fußgängermodell erstellt. Die in dieser Arbeit zu untersuchenden Hypothesen werden auf Basis des dort entwickelten Fußgängermodells untersucht.

Weitere Informationen zu MARS und bestehenden Forschungsarbeiten können dem Webauftritt <https://mars-group.org/> entnommen werden.

## 2.3 Parametrisierung eines Fußgängers im Kontext Smart Rescue

Das in den Arbeiten [29] und [30] entwickelte Fußgängermodell, dient als Basis dieser Arbeit. Im Folgenden wird eine kurze Zusammenfassung über die in dem Modell berücksichtigten Parameter gegeben. Detaillierte Begründungen für einzelnen Parameter sowie verwendete Größen sind in den jeweiligen Quellen zu finden.

Die Parameter eines Fußgängers gliedern sich wie folgt:

**Geschlecht:** Die Unterteilung in geschlechtsspezifische Fußgänger (bzw. Agenten) entsteht aufgrund des unterschiedlichen Leistungsniveaus vom männlichen bzw. weiblichen

Geschlecht. Der Leistungsunterschied wirkt sich auf die zurückgelegte Geschwindigkeit eines jeden Einzelnen aus [51]. In der vorliegenden wurde die Verteilung des Geschlechts nach dem Bericht des statistischen Bundesamtes Nord auf einen Anteil von 49.35% Männern und 50.65% Frauen festgelegt [30][44].

**Alter:** Das Alter eines jeden Agenten hat wie auch das Geschlecht, Auswirkungen auf die mögliche Leistung und die damit verbundene Geschwindigkeit eines Fußgängers. Eine Mensch erfährt bis zum ca. 20. Lebensjahr eine Steigerung seine Leistungsniveaus [51]. Ab dem 20. Lebensjahr sinkt dieses jedoch kontinuierlich [51]. Die Altersgrenzen des zugrunde liegenden Modells wurden daher auf 18 bis 64 Jahre gesetzt, da hier der Leistungsabfall sich kaum verändert(vgl. [51] Abb. 41). Die Verteilung des Alters innerhalb der Altersgrenzen wurde nach dem Bericht des statistischen Bundesamtes Nord vorgenommen [44].

**Körperproportionen:** Die Körperproportionen nehmen Einfluss auf die mögliche Geschwindigkeit eines Fußgängers. Über die Ausdehnung eines Körpers und die daraus resultierende Anzahl an Fußgängern pro Quadratmeter wird nach dem *Level-of-Service* Konzept (LOS) von Weidmann die Personendichte bestimmt [51]. Anhand der Personendichte werden Aussagen über die Reduktionen der aktuellen Geschwindigkeit getroffen (vgl. [29] Kapitel 2.3.2 Abschnitt Level-of-Service-Konzept). Durch die Parametrisierung von Körperproportionen wird so eine natürliche Verlangsamung eines Agenten innerhalb von Bereichen mit höherer Personendichte gewährleistet. Für die Körpergröße wurde eine geschlechtsspezifische Normalverteilung mit einer Standardabweichung von 3.3% verwendet, sodass die durchschnittliche Körpergröße für Männer bei 178.5 cm und für Frauen bei 166.0 cm liegt [51]. Die Körpertiefe beträgt 13% und die Körperbreite 27% der Körpergröße. Das Gewicht hat bei der Verwendung der Normalverteilungen keine beeinflussende Rolle auf die Geschwindigkeit. Im zugrunde liegenden Modell wurde dennoch eine geschlechtsspezifische Normalverteilung (weibliches Durchschnittsgewicht: 68.7 Kg; männliches Durchschnittsgewicht: 85 Kg) mit einer Standardabweichung von 15Kg angewandt. Begründungen sowie Quellen der im Modell verwendeten Größen sind in der Arbeit [30] Kapitel 4.4 zu finden.

**Geschwindigkeit:** Die Geschwindigkeit einer Person ist der entscheidende Parameter für das Smart Rescue Modell und entscheidet unter Berücksichtigung des aktuellen Ortes, sowie der eben erwähnten Einschränkung durch Störfaktoren, wie Personendichte etc. über die Ankunftszeit am Einsatzort. Die Geschwindigkeit wurde im Verhältnis zur zu

simulierenden Bevölkerung betrachtet und wird daher über eine geschlechtsspezifische Normalverteilung nach Weidmann [51] berechnet.

Für männliche Fußgänger gilt:

$$\sigma_{gehen} = 1.41m/s * 0.193 = 0.27213m/s$$

$$V_{gehen_{min}} = 1.41m/s - 0.27213m/s = 1.13787m/s$$

$$V_{gehen_{max}} = 1.41m/s + 0.27213m/s = 1.68213m/s$$

$$\sigma_{laufen} = 3.98m/s * 0.193 = 0.76814m/s$$

$$V_{laufen_{min}} = 3.98m/s - 0.76814m/s = 3.21186m/s$$

$$V_{laufen_{max}} = 3.98m/s + 0.76814m/s = 4.74814m/s$$

Für weibliche Fußgänger gilt:

$$\sigma_{gehen} = 1.27m/s * 0.193 = 0.24511m/s$$

$$V_{gehen_{min}} = 1.27m/s - 0.24511m/s = 1.02489m/s$$

$$V_{gehen_{max}} = 1.27m/s + 0.24511m/s = 1.51511m/s$$

$$\sigma_{laufen} = 3.71m/s * 0.193 = 0.71603m/s$$

$$V_{laufen_{min}} = 3.71m/s - 0.71603m/s = 2.99397m/s$$

$$V_{laufen_{max}} = 3.71m/s + 0.716033m/s = 4,426033m/s$$

Die hier errechneten maximal und minimal Werte bilden den Rahmen, indem sich das jeweilige Geschlecht bewegen kann. Durch beeinflussende Faktoren, wie eine zu hohe Personendichte pro Quadratmeter, kann die Geschwindigkeit jedoch unter diese Werte fallen (siehe [29] Kapitel 2.3.2).

**Beruflicher Status:** Über den beruflichen Status, der sich in erwerbstätig und nicht erwerbstätig gliedert, wird im Modell das Bewegungsverhalten abgebildet. Für die vorliegende Arbeit wurden dafür 6% nicht erwerbstätige und 94% erwerbstätige, die sich in 73% Voll- und 27% teilzeitbeschäftigte gliedern, angenommen [8][43]. Die daraus resultierenden Bewegungsmuster tragen zum Gesamtverhalten der Simulation bei.

### 2.4 Verfeinerung mittels geospatialer Daten

Unter dem Begriff geospatiale Daten, raumbezogene Daten oder Geodaten werden im Allgemeinen Informationen mit einem Raumbezug verstanden. Diese Informationen sind über ihren Raumbezug einem Punkt oder Gebiet auf der Erdoberfläche zugewiesen [49][50]. Raumbezogene Daten lassen sich in vier Arten einteilen [49]. Die zwei bekanntesten sind Rasterdaten und Vektordaten [54]. Rasterdaten sind Bilddaten, die in einer bestimmten Auflösung für einen Kartenausschnitt vorliegen. Die Bildpunkte werden farbige oder in Graustufen abgebildet und stellen eine Information dar. Ein typisches Beispiel für Rasterdaten sind Luftbilder [49]. Vektordaten hingegen sind Koordinatenangaben für geometrische Formen wie Punkte, Linien, Polygonen oder Multi-Polygonen [49][50]. Sachdaten und objektorientierte Aggregate aus Sach-, Vektor- und Rasterdaten bilden die übrigen Kategorien. Sachdaten sind Daten, die ein raumbezogenes Objekt näher beschreiben. Beispiele hierfür sind Eigentümer von Grundstücken oder die Nutzungsart einer Fläche [49]. Objektorientierte Aggregate sind Informationen, die anhand beschriebener Objekte zusammengefasst werden [49]. Die neu gewonnenen Aggregate werden in der Geoinformatik als „Features“ bezeichnet [49]. Geodaten werden üblicherweise durch verschiedene Methoden, je nach vorliegender Kategorie dargestellt. So werden Rasterdaten üblicherweise als Gitter (Grid) dargestellt, während Vektordaten über Meridiane und Breitenkreise oder Gauß-Krüger-Koordinaten dargestellt werden können [54].

Es lassen sich nach Teege [49] Geodaten in mindestens fünf Kategorien unterscheiden, welche durch die erhebende Stelle geprägt werden. Hierzu zählen „Behördliche, amtliche, privatwirtschaftliche, militärische und Forschungsgeodaten“ [49]. Behördliche Geodaten werden von öffentlichen Stellen erfasst. Sie bilden die Grundlage für Planung und Analyse im öffentlichen Bereich [49]. Amtliche Daten ähneln den behördlichen Geodaten. Hinzu kommt, dass amtliche Daten eine Rechtsverbindlichkeit besitzen. Beispielsweise werden Grundstücksgrenzen etc. in amtlichen Geodaten gespeichert. Privatwirtschaftliche Geodaten hingegen werden meist privatisiert von Unternehmen, Organisationen oder

Privatpersonen selbst erfasst. Die Daten dienen für eigene Zwecke als Planungs- und Verwaltungsgrundlage [49]. Die Kategorien Militär und Forschung werden durch die namensgebenden Stellen erfasst und für entsprechende Zwecke genutzt. Die Relevanz von den bisher genannten Kategorien tritt hier in den Hintergrund [49].

Um geospatiale Daten speichern, visualisieren und bearbeiten zu können, existieren sogenannte Geoinformationssysteme (GIS) [49]. Die Verarbeitung von Geoinformationen innerhalb eines GIS, kann von Berechnung von Längen und Abständen über die Verschneidung von Flächen bis hin zur Koordinatentransformation und Definition von Darstellungsformen alles bieten [49]. Geoinformationssysteme arbeiten für gewöhnlich auf Basis relationaler Datenbanken, die um Schichten zur Speicherung und Zugriffsmechanismen ergänzt werden [49]. Führende Anbieter von GIS sind Firmen wie Autodesk [1], Hexagon Geospatial [19], Pitney bowes [2], AED SICAD [42] und ESRI [17].

Das vorliegende Modell aus den Arbeiten [29] und [30] verwendet zur Verfeinerung des Zielsuchverhaltens eines Agenten geospatiale Daten der Quellen *Die Geofabrik*<sup>1</sup> und des Transparenzportals Hamburg<sup>2</sup>. Beide Quellen liefern Informationen über mögliche, an die Handlung eines Agenten angepasste, Orte. Die verwendeten Datensätze wurden in der vorherigen Arbeit miteinander verschnitten (siehe [30] Kapitel 4.1). Über die Verfeinerung mittels raumbezogener Daten wurde die Möglichkeit geschaffen, das Bewegungsverhalten eines Agenten realitätsgetreuer abbilden zu können (siehe 2.5).

### 2.5 Generierung von Bewegungsverhalten eines Agenten

Das Verhalten eines Fußgängers, sich durch den Raum zu bewegen, ist oftmals eine Problematik, die es in der Modellierung von Fußgängersimulationen zu lösen gilt. Die Problematik liegt hierbei in der Zielauswahl. Die Fragestellung *wann* ein Agent sich wohin in einem zu simulierenden Raum bewegt, ist in vielen Simulationen ungeklärt und wird wie in dem Marktführer PTV Viswalk durch randomisierte Zielsuche gelöst [56]. Agenten werden innerhalb der Simulation erstellt (*gespawned*) und beginnen dann randomisierte Ziele anzusteuern. Dort angekommen, wird erneut ein randomisiertes Ziel gesucht. Oftmals wird dieses Bewegungsverhalten bei Simulationen größeren Maßstabes eingesetzt.

---

<sup>1</sup>Geofabrik Website: [www.geofabrik.de](http://www.geofabrik.de)

<sup>2</sup>Transparenzportal Hamburg: <http://transparenz.hamburg.de/>

Bei gezielten Fragestellungen, wie beispielsweise Evakuierungsszenarien, werden andere Modelle eingesetzt, um Bewegungsverhalten generieren zu können (Leadership oder Teilchenmodelle) [34].

Um diesem Problem entgegen zu wirken, wurde in der Arbeit [30] eine Komponente entwickelt, die es ermöglicht, aufgrund von statistischen Daten, Tagespläne für Agenten zu erstellen. Die Grundlage für die Generierung eines Tagesplans stellen die Quellen *Mobilität in Deutschland* sowie das *Statistische Jahrbuch Hamburg und Schleswig-Holstein* dar. Erstere Quelle ist eine der größten in Deutschland durchgeführten Studien. Die „Mobilität in Deutschland (MiD) ist eine bundesweite Befragung von Haushalten zu ihrem alltäglichen Verkehrsverhalten im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)“ [11]. Die Studie bietet neben den Erkenntnissen zur aktuellen „Soziodemographie von Personen und Haushalten und ihrem Alltagsverkehr“ [11] auch die Datengrundlage für aktuelle wissenschaftliche Ergebnisse im Bereich der Verkehrsplanung und Verkehrssimulation. Die Daten der Studie werden durch MiD über einen Bericht bereitgestellt. Das *Statistische Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein* stellt demographischen Daten zur öffentlichen Nutzung bereit. Das Amt führt alle durch Bundes- oder EU-Gesetze angeordneten Statistiken durch, bereitet die aggregierten Daten auf und interpretiert diese [43]. Das Resultat ist unter anderem der jährlicher Bericht mit dem Titel *Statistisches Jahrbuch Hamburg*. Dieser enthält alle gesammelten, aufbereiteten und interpretierten Statistiken zu diversen Themen, wie beispielsweise „Bevölkerung, Haushalt und Familie“ und „Erwerbstätigkeit und Arbeitslosigkeit“ [43]. Dies bildet die Grundlage der vorliegenden Arbeit und wurde dazu verwendet Bewegungsverhalten über sogenannte Tagespläne zu generieren.

Die Komponente zur Generierung eines Tagesplans erstellt für jeden Agenten anhand seines beruflichen Status und dem gerade simulierten Wochentag einen Plan bestehend aus Aktion und Startzeit der Aktion. Der berufliche Status nimmt hierbei Einfluss auf die am Tag auszuführende Arbeitszeit. Ein Vollzeitbeschäftigter Agent wird pro Tag 8 Stunden, ein Teilzeitbeschäftigter 5 Stunden pro Tag arbeiten. Neben seiner Erwerbstätigkeit (*work*) kann ein Agent die Tätigkeiten *Eat*, *Home Time*, *Free Time* und *Errands* ausführen. Für die jeweiligen Tätigkeiten wurden zeitliche Verhältnisse nach den in der Studie *Mobilität in Deutschland* genannten Daten festgelegt. Das zeitliche Verhältnis, wie lange ein Agent eine Tätigkeit pro Tag ausführt ist in der Erstellung von Tagesplänen der Arbeit [30] Kapitel 4.3 begründet und erläutert. Für jeden beruflichen Status ist im Anhang A.1 der jeweilige Entscheidungsbaum zur Generierung eines Tagesplans und ein Beispieltagesablauf (Anhang A.2) dargestellt. Untenstehende Abbildung 2.3 zeigt

beispielhaft den Tagesablauf eines Vollzeitbeschäftigten.

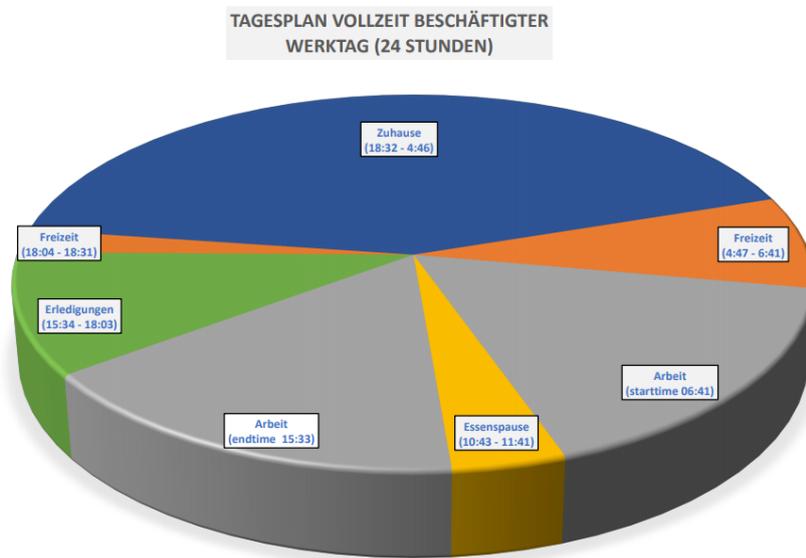


Abbildung 2.3: Tagesablauf eines Vollzeitbeschäftigten.

## 3 Analyse

Dieses Kapitel analysiert den bestehenden Status quo des vorliegenden Modells der Arbeiten [29] und [30]. Es wird ein kurzer Einblick in den Ablauf des Modells gegeben und anschließend eruiert, welche Anforderungen zur Beantwortung bzw. Untersuchung der in Kapitel 1.1 genannten Fragestellung und Hypothesen fehlen.

### 3.1 Status quo

Das Fußgängermodell aus den Arbeiten [29] und [30] ermöglicht es, ein dynamisches Bewegungsverhalten von Agenten innerhalb des Stadtteils Bramfeld der Hansestadt Hamburg zu erzeugen. Zum Simulationsbeginn wird die gewünschte Agentenanzahl mit Hilfe einer gegebenen CSV-Initialisierungsdatei erstellt und zufällig innerhalb der zu simulierenden Umgebung verteilt. Anschließend wird anhand der geospatialen Daten eine Möglichkeit zum Wohnen in der Umgebung gesucht und diese als *Zuhause* (Home) für den Agenten gespeichert. Zusätzlich suchen erwerbstätige Agenten ebenfalls über die geospatialen Daten eine Möglichkeit zum Arbeiten und speichern diesen Ort als ihren Arbeitsort (Work) ab. Jeder Agent erstellt abhängig von seinem beruflichen Status einen Plan für den Tag, der neben den auszuführenden Aktionen die Startzeiten der jeweiligen Aktionen enthält (siehe Kapitel 2.5). Die momentane Auflösung der Simulation beträgt eine Sekunde. In jedem Simulationsschritt prüft ein Agent die Startzeit seiner momentan anstehenden Handlung. Überschreitet der zeitliche Simulationsschritt (Tick) die Startzeit, so beginnt der Agent mit der Ausführung der Handlung. Hierfür wird anhand der auszuführenden Handlung über geospatiale Daten ein möglicher Handlungsort im Umkreis gesucht. Anschließend wird zum Handlungsort navigiert und dort bis zum Start der nächsten Handlung verweilt. Am Ende eines Tages und somit am Ende eines Handlungsplans (Tagesplans) erzeugt der Agent für den darauffolgenden Tag einen neuen Plan und kann somit dein autonomes Bewegungsverhalten mit unterschiedlichen Zielen generieren.

Das aktuelle Fußgängermodell erfordert aufgrund der zufälligen Verteilung der Agenten in der Initialisierungsphase eine Zeit zum *Einpendeln*. Die Zeit variiert innerhalb jeder Simulation, da das Modell als eingependelt gilt, wenn jeder Agent seinen ersten Handlungsort erreicht hat. Da Handlungen zu unterschiedlichen Uhrzeiten starten und Agenten zufällig weit entfernt vom Handlungsort sind, kann das Modell erst mit Erreichen des ersten Handlungsortes als initialisiert betrachtet werden.

Die verschiedenen Parameter zur Initialisierung sowie das Bewegungsverhalten der Agenten im Einzelnen aber auch in der Gesamtheit aller Agenten wurde in der Arbeit [30] validiert bzw. verifiziert (vgl. [30] Kapitel 6). Es konnte gezeigt werden, dass Agenten handlungsorientiert Ziele suchen und diese aufsuchen. Darüber hinaus konnten Initialisierungsparameter und die Geh-Geschwindigkeit gegen Referenzen validiert werden. Das Gesamtverhalten der Agenten zeichnete sich besonders gut in Wohngebieten ab. Hier wurde ersichtlich, dass Wohngebiete tagsüber ausdünnen, da Agenten ihrer Arbeit nachgingen. Zum Stadtkern hin konnte dieses Verhalten allerdings nur teilweise bestätigt werden, da hier die vorliegende Bebauung zwischen Mischgebäuden, kommerziell und industriell genutzten Gebäuden sowie Wohngebäuden stark variiert.

## 3.2 Erweiterte Anforderungen durch Smart Rescue

Das bestehende Modell (siehe 3.1) ermöglicht im momentanen Zustand noch keine Rettung durch Freiwillige bzw. Agenten. Hierfür muss die Möglichkeit geschaffen werden, Agenten als sogenannte Helfer zu deklarieren. Darüber hinaus muss eine Komponente entwickelt werden, die es ermöglicht, Einsätze zu generieren und Agenten, die als Helfer gekennzeichnet sind, zu alarmieren. Die Alarmierung soll auf Basis von Ballungsräumen geschehen. Dies hat den Hintergrund, dass die Wahrscheinlichkeit eines Notfalls in Bereichen mit größerer Personendichte höher ist, als in Bereichen mit geringer Personendichte. Das Szenario, welches modelliert werden soll, sieht folgendermaßen aus: Ein oder mehrere als Helfer gekennzeichnete Agenten gehen dem gewöhnlichen Tagesablauf aus dem Abschnitt 3.1 nach. Hierbei weicht ihr Bewegungsverhalten nicht von dem anderer Agenten, die nicht als Helfer gekennzeichnet sind, ab. Ein Helfer kann jederzeit von der Alarmierungskomponente alarmiert werden, unabhängig welcher Handlung er gerade nachgeht. Im Alarmierungsfall beginnt der Agent sich sofort mit seiner spezifischen Laufgeschwindigkeit (siehe 2.3) anhand einer Route zum Einsatzort zu begeben. Dort angekommen, geht er sofort seiner zuvor ausgeführten Tätigkeit nach. Die Zeit am Einsatzort soll nicht

simuliert werden, da dies in dieser Arbeit nicht thematisiert werden soll (vgl. 1.1). Die Zeit der eigentlichen Erste-Hilfe Maßnahme wird somit vernachlässigt.

Die Alarmierung von Helfern wird basierend auf den Zahlen des Jahresberichts 2017 der Feuerwehr Hamburg [18] generiert. Da keine konkreten Einsatzzahlen über Reanimationen für den Bereich Altona bzw. Hamburg vorliegen, wird mit Hilfe der Einsätze, welche durch einen Notarzt begleitet wurden, eine Alarmierungszahl ermittelt. Bei lebensbedrohlichen Lagen bzw. Alarmierungen, die auf eine solche hinweisen, begleitet in der Regel der Notarzt das Rettungsdienstpersonal. Im Jahresbericht 2017 der Feuerwehr Hamburg wurden 13127 Einsätze von einem Notarzt begleitet (vgl. [18] Abschnitt 3.3.1 Notarztbegleitung). Wird diese Zahl auf Einsätze pro Stunde gerechnet, ergeben sich nach 3.1 ca. 1.5 Einsätze pro Stunde.

$$x = \frac{13127}{365 * 24} \approx 1.5 \quad (3.1)$$

Um gewährleisten zu können, dass die simulierten Einsätze nicht zu gering angesetzt sind, soll als erweiterte Anforderung an das Modell zweimal pro Stunde ein Einsatz generiert werden.

Der Alarmierungsradius für jeden Alarmierung eines Helfers wird auf 400 Meter gesetzt. Dieser Radius ergibt sich aus der niedrigsten Laufgeschwindigkeit eines Agenten (m/s) mal drei Minuten minus einem hier festgelegten Puffer von ca 25%. Dies errechnet sich wie folgt: Der maximale Alarmierungsradius für die niedrigste Laufgeschwindigkeit (siehe 2.3) eines Agenten beträgt nach 3.2 bei einer geraden Straße 538.91 Meter.

$$r_{Alarm_{max}} = V_{laufen_{min}} * 3 * 60s \quad (3.2)$$

$$r_{Alarm_{max}} = \frac{2.99397 \frac{m}{s}}{3 * 60s} = 538.9146m \quad (3.3)$$

Dies setzt voraus, dass, wie bereits erwähnt, die Straßen aus Geraden bestehen müssten und keine Kreuzungen oder Abbiegungen aufweisen dürften, da sich hierdurch die zu laufende Strecke verlängert. Die Abbildung 3.1 verdeutlicht die Problematik. Das in der Abbildung gezeigte Auto befindet sich im Alarmierungsradius, würde aber aufgrund der infrastrukturellen Gegebenheiten eine weitaus längere Strecke zurücklegen müssen und damit eine längere Zeit zum Einsatzort benötigen. In bereits laufenden Projekten, wie [14] oder [55] werden keine Alarmierungsradien genannt. In dem abgeschlossenen Forschungsprojekt *EMuRgency* (siehe 2.1) wurde ein Alarmierungsradius von 800 Metern gewählt [28]. Dieser Radius wurde aufgrund der eben erwähnten Argumente als zu groß

angesehen und wird daher auf die erwähnten 400 Meter gesetzt.

$$t_{Ankunft} = \frac{400m}{2.99397 \frac{m}{s}} \approx 134s \quad (3.4)$$

$$\frac{134s}{3 * 60s} * 100 \approx 75\% \quad (3.5)$$

Daraus ergibt sich unter der Annahme, dass die in der Abbildung 3.1 gezeigte Problematik innerhalb des zu simulierenden Stadtteils bestehen würde ein Puffer von 25% festgelegt. Ein Agent mit der niedrigsten Laufgeschwindigkeit würde somit auf einer Graden knapp über 2 Minuten benötigen (siehe 3.4 und 3.5).

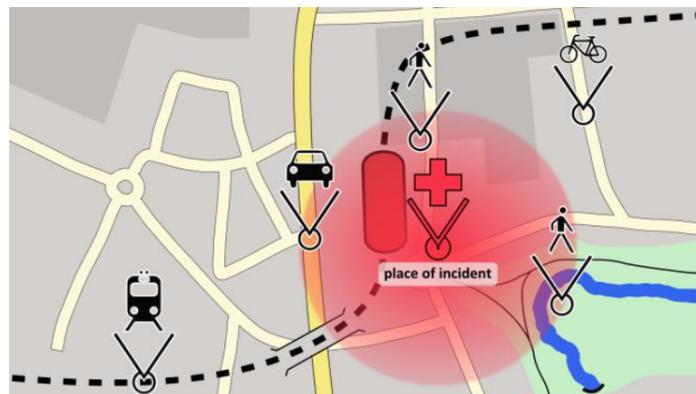


Abbildung 3.1: Problematik einer Umkreisalarmierung [27].

### 3.2.1 Erweiterung der funktionalen Anforderungen

Die in [30] Kapitel 3.1 genannten Anforderungen werden um die Untenstehenden erweitert.

- F1** Einsatzorte werden als Geoposition angegeben
- F2** Die Handlung eines Agenten wird durch eine Alarmierung unterbrochen
- F3** Die Handlung eines Agenten wird nach einer Einsatz wieder aufgenommen
- F4** Der Agent bewegt sich mit seiner Lauf-Geschwindigkeit zu einem Einsatzort
- F5** Die Geschwindigkeit von Gehen zu Laufen wird erst bei einer Alarmierung geändert

- F6** Die Geschwindigkeit nach einer Alarmierung ist die Geh-Geschwindigkeit
- F7** Der Alarmierungsradius beträgt 400 Meter
- F8** Alarmierungen werden durch eine Alarmierungskomponente ausgelöst
- F9** Die Funktion des Smarten-Rettens ist deaktivierbar
- F10** Es werden pro Tag so viele Einsätze generiert, dass der maximale Schnitt 2 pro Stunde beträgt
- F11** Es wird nur ein Agent alarmiert, der innerhalb von 3 Minuten am Einsatzort sein kann
- F12** Wenn kein Agent innerhalb von 3 Minuten am Einsatzort sein kann, gilt der Einsatz als nicht bedienbar
- F13** Einsätze werden auf Grundlage der Ballungsräume von Agenten generiert (höheres Einsatzaufkommen in Ballungsräumen)
- F14** Die Anzahl an Smarten Rettern ist frei einstellbar

### 3.3 Abgrenzungen

Es werden in diesem Abschnitt zusammenfassend alle Abgrenzungen für das Modell dieser Arbeit genannt (Abgrenzungen aus [29] mit inbegriffen).

Treppen und Rampen haben einen inhibierenden Einfluss auf die Geschwindigkeit des Fußgängers. Für den Raum Hamburg liegen keine zuverlässigen Daten bzgl. Neigung und Strecke vor. Es werden daher keine Daten bzgl. Treppen oder Rampen in der Geschwindigkeitsberechnung berücksichtigt. Das Alter wird aufgrund des in 2.3 erwähnten Leistungsabfalls auf eine Altersgrenze von 18 bis einschließlich 64 Jahre begrenzt. Die Grenze von 18 Jahren deckt auch eventuell rechtlich in Frage kommende Aspekte ab, da mit Erreichen des 18. Lebensjahres die Volljährigkeit in Deutschland erreicht ist. Ebenfalls nimmt der in 2.3 Faktor der Körpergröße keinen Einfluss auf die hier verwendete Geschwindigkeit (Beinlängenproportionen werden mangels Daten außer Acht gelassen). Für spezifische Größen der einzelnen Personen aus der Bevölkerung liegen keine Daten vor. Die Geschwindigkeit wird unter Abgrenzung der zuvor genannten Faktoren mit Hilfe einer Normalverteilung (vgl. 2.3) nach Weidmann [51] errechnet.

Helfer, die alarmiert worden sind, berücksichtigen keine Phasen von Lichtsignalanlagen (ugs. Ampel). Dies hat den Hintergrund, dass die durchschnittliche Phase einer Lichtsignalanlage zwischen 50 – 75 Sekunden bzw. maximal 90 – 120 Sekunden liegt. Eine Wartezeit von durchschnittlich 50 – 75 Sekunden wird in einer lebensbedrohlichen Situation als unrealistisch angesehen.

Personen mit Be- oder Verhinderung nach [29] Abbildung 2.4 werden nicht betrachtet. Nicht ortskundige Personen werden mit in das Modell aufgenommen, da sie im Falle einer Alarmierung eine exakte Navigation zum Einsatzort bereitgestellt bekämen.

Des Weiteren werden Versammlungsplätze oder Objektinnenräume ausgeschlossen, da diese Arbeit keine Entfluchtungszenarien behandelt. Notfälle in größeren öffentlichen Räumen (z.B. in Bahnhöfen) werden mit einem Notfall auf offener Straße gleichgesetzt. Emotionen und die körperliche Verfassung einer Person werden vorerst nicht thematisiert, da es in Smart Rescue in erster Linie um den zeitlichen Aspekt der Rettung geht.

## 4 Design und Implementierung

In diesem Kapitel wird das Design des aktuellen Basis-Modells aus den Arbeiten [29] und [30] vorgestellt. Anschließend werden die ausstehenden Anforderungen aus Kapitel 3 mit in das Design eingearbeitet und Details zur Implementierung der Alarmierungs-Komponente aufgezeigt.

### 4.1 Architektur des Status quo Modells

Im Folgenden erfolgt die kurze Einordnung des Gesamtmodells in das übergeordnete fachliche Modell von *Smart Open Hamburg* und anschließend eine detaillierte Erläuterung des bestehenden Fußgängers.

#### 4.1.1 Übergeordnetes fachliches Datenmodell

Das bereits entwickelte Fußgängermodell ist Teil der multi-modalen Verkehrssimulation des Projekts *Smart Open Hamburg* (siehe 2.2.3). Das fachliche Datenmodell ist in 4.1 abgebildet. Es wird in Fuß- und Fahrzeugverkehr unterschieden. Die gemeinsame Basis aller Verkehrsteilnehmer bildet der sogenannte *RoadUser*. Dies ermöglicht im späteren Verlauf einen einfacheren Wechsel zwischen den Verkehrsteilnehmern und so der Multi-Modalität. Der *RoadUser* und somit alle Unterklassen bewegen sich innerhalb eines sogenannten *Spatial Graph Environments* (SGE) (nicht in Abbildung enthalten, da Implementierungsdetail). Mit Hilfe des SGEs kann für jeden Verkehrsteilnehmer seine eigene Infrastruktur geschaffen werden, auf der sich der Agent später bewegt. Für Fußgänger (Pedestrian) bedeutet dies, dass das SGE alle Straßen, Fußgängerwege und Trampelpfade enthält. Für den motorisierten Verkehr hingegen werden nur die Straßen benötigt. Daher wird das SGE eines Kraftfahrzeuges lediglich Straßen „kennen“. Mehr zum motorisierten Verkehr innerhalb des *Smart Open Hamburg* Projektes sowie Details zum *Spatial Graph Environment* sind den Publikationen von Weyl et al. [53] und Weyl [52] zu entnehmen.

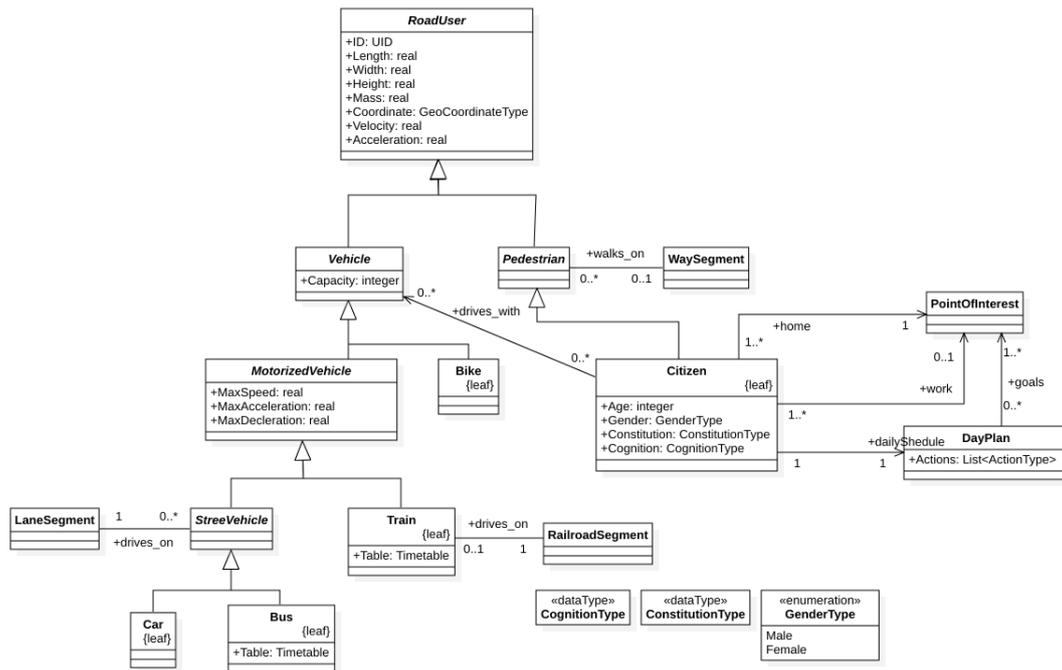


Abbildung 4.1: Übergeordnetes fachliches Datenmodell der Smart-Open-Hamburg Simulation.

Der in der Abbildung 4.1 gezeigte Teilstrang des *Pedestrian* stellt das fachliche Modell des in den Arbeiten [29] und [30] entwickelten Modells dar. Der *Pedestrian* stellt hierbei die Bewegung auf dem SGE bereit (Bewegung auf *WaySegments*). Die Person an sich wird durch den *Citizen* repräsentiert. Dieser wiederum verfügt über den in 3.1 erwähnten Tagesplan zur Bildung eines Bewegungsverhaltens. Der Teilstrang *Vehicle* wird in dieser Arbeit nicht weiter thematisiert, da hier noch zukünftige Arbeiten ausstehen bzw. sich in der Entwicklung befinden.

#### 4.1.2 Komponenten des Status quo Modells

Die Abbildung 4.2 zeigt die Komponenten des in 4.1.1 erwähnten Teilstrangs des *Pedestrian*. In den Arbeiten [29] und [30] wurde für den Fußgänger die weitere Basisklasse *SpatialGraphGeoAgent* geschaffen, um Bewegungen innerhalb der Simulation besser abbilden zu können. Welcher Vorteil hierdurch entsteht, ist im nachfolgenden Abschnitt *SpatialGraphGeoAgent* aufgezeigt. Das fachliche Modell wurde durch diese Erweiterung nicht aufgebrochen. Der *Pedestrian* hält zu der erweiterten Basisklasse die Basisklasse des

*RoadUser* (*IRoadUser*) und kann somit den in 4.1.1 erwähnten Wechsel von Fußgänger zu einem anderen beliebigen Verkehrsteilnehmer dennoch durchführen. Alle im Folgenden erwähnten Komponenten sind detailliert in den Arbeiten [29] und [30] beschrieben.

### **SpatialGraphGeoGridAgent**

Der Basistyp zur Implementierung eines Fußgängers ist der *SpatialGraphGeoGridAgent*. Dieser Agententyp hält zwei verschiedene Environments. Zum einen das in 4.1.1 erwähnte SGE zur Bewegung innerhalb des Graphens und zum Anderen das sogenannte *GeoGridEnvironment*. Das *GeoGridEnvironment* ist eine Entwicklung der MARS Forschungsgruppe und ermöglicht die Darstellung eines Bereiches der Erde als Gitter (Grid). Jede Koordinate des dargestellten Bereiches wird einer Zelle innerhalb des Environments zugeordnet. Die Auflösung jeder Zelle beträgt 10 Meter. Der Vorteil der Kombination beider Environments innerhalb eines Basisagententyps ist, dass die Bewegung und die Routensuche schnell und performant über den Graphen des SGEs abgewickelt werden kann. Für Interaktionen und Umkreissuchen (und späterem Alarmieren) hingegen ist ein Grid, wie das *GeoGridEnvironment* besser geeignet. Aus diesen Gründen wurden beide Environments in einem Basisagententypen vereint. Der Agent besitzt die Aufgabe die Positionen innerhalb des SGEs sowie des *GeoGridEnvironments* kongruent zu halten. Die Methode *MoveForward()* zur Fortbewegung des Agenten ist daher innerhalb des Basistyps implementiert worden.

### **Pedestrian**

Die Klasse *Pedestrian* leitet sich aus dem Basistypen *SpatialGraphGeoGridAgent* sowie dem Interface *IRoadUser* ab. Innerhalb des Fußgängermodells hat der *Pedestrian* die Aufgabe, die mögliche zu laufende Geschwindigkeit zu errechnen. Hierfür wird initial über den *NormalDistributionGenerator*, die *HumanVelocities* und die Variable *Gender* nach der Normalverteilung nach Weidmann eine Geh- und Lauf-Geschwindigkeit für den Agenten ermittelt [51]. Im Verlauf der Simulation kann der Agent über die Berechnung der vor ihm befindlichen Agenten seine Geschwindigkeit nach dem erwähnten LOS-Konzept anpassen und somit verlangsamen oder beschleunigen [29].

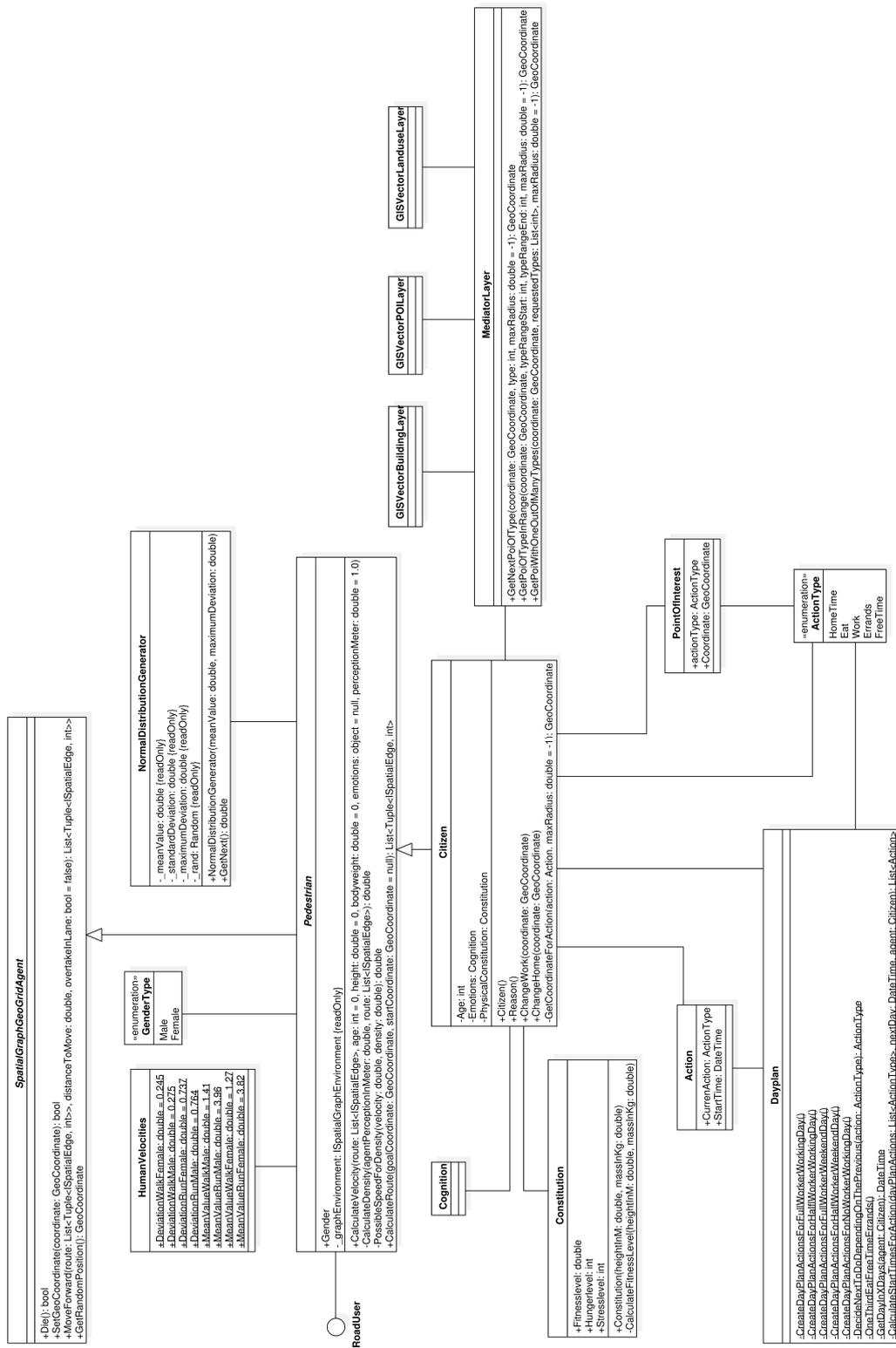


Abbildung 4.2: Komponenten des Fußgängermodells der Arbeiten [29] und [30].

### MediatorLayer

Der *MediatorLayer* hält Referenzen auf drei in der Simulation verwendete *GISVectorLayer*. Der Typ *GISVectorLayer* ist eine ebenfalls von der Forschungsgruppe MARS entwickelte Komponente. Die Layer *GISVectorBuildingLayer* und *GISVectorLanduseLayer* stellen geospatiale Informationen über die Flächennutzung der zugrunde liegenden Koordinaten sowie den Bebauungszustand dar. Der *GISVectorLanduseLayer* wird innerhalb des *MediatorLayers* genutzt, um Anfragen bezüglich bestimmter Kategorien, wie beispielsweise die Suche nach einem kommerziell genutzten Gebäude zu ermöglichen. Der *GISVectorBuildingLayer* wird für Anfragen genutzt, um zu prüfen, ob an einem Ort innerhalb des gegebenen Bereiches ein Gebäude bereits gebaut ist. Viele der zugrunde liegenden Flächennutzungsdaten schreiben beispielsweise Flächen für zukünftigen Wohnungsbau aus, obwohl dort noch kein Gebäude gebaut worden ist. Der dritte Layer ist der *GISVectorPOILayer*. Hier werden jegliche durch die Datenquellen generierte POIs (Points of Interest) gehalten. Abfragen wie beispielsweise die Suche nach einem Fitnessstudio werden somit ermöglicht (der Flächennutzungs-Layer würde das Gebiet rein als kommerziell ausweisen). Die Aufgabe des *MediatorLayers* ist es, Anfragen eines Agenten bzgl. einer spezifischen Suche entgegen zu nehmen und anhand der Anfragekriterien einen geeigneten Ort zu finden. Der Layer wird innerhalb des Fußgängermodells für das Auffinden von Handlungsorten verwendet.

### Dayplan

Über die Klasse *Dayplan* erstellt sich jeder Fußgänger (*Citizen*) zur Laufzeit einen Tagesplan bzw. Handlungsplan. Der Tagesplan generiert anhand des beruflichen Status eines Agenten, sowie anhand statistischer Daten einen zeitlichen Ablauf [25][43]. Handlungen können, wie in 2.5 beschrieben, *Eat*, *HomeTime*, *Work*, *FreeTime* und *Errands* sein. Durch den in zwei Schritten generierten zeitlichen Ablauf entsteht die gewünschte Bewegungsdynamik der Agenten innerhalb der Simulation. Die Erstellung eines zeitlichen Ablaufs inklusive verwendeter zeitlicher Verhältnisse für einzelnen Handlungen sind den Kapiteln 4.3 und 5.3 der Arbeit [30] zu entnehmen. Der Agent hält während der Simulation eines Tages in der Realität für diesen Tag einen Tagesplan. Dieser besteht aus den in der Abbildung 4.2 gezeigten Teilkomponenten. Die auszuführenden Handlungen werden über den *ActionType* zur Verfügung gestellt. Jeder *ActionType* kann beliebig vielen *Actions* und/oder *PointOfInterests* zugeordnet sein. Die Klasse *Action* kapselt hierbei die

im Tagesplan enthaltene Handlung inklusive derer Startzeit. Der Klasse *PointOfInterest* hält Informationen über einen Ort. Beispielsweise wird der Wohnort eines Agenten als POI gespeichert. Hierbei ist die Handlung mit der dazugehörigen Koordinate im Agenten gespeichert.

### **PedestrianLayer**

Der *PedestrianLayer* ist in der Abbildung 4.2 nicht enthalten, wird hier dennoch der Vollständigkeit halber und zum späteren besseren Verständnis erwähnt. Der *PedestrianLayer* ist eine Komponente der Simulation, die die Verwaltung der *Citizen*-Agenten übernimmt. Während der Initialisierung der Simulation erstellt der Layer anhand einer Initialisierungsdatei (CSV) die gewünschte Agentenanzahl. Nach dem Erstellen der Agenten hat der *PedestrianLayer* im Modell für den *Citizen* keine weitere Funktion.

### **Citizen**

In der Klasse *Citizen* werden alle bisher erwähnten Komponenten zusammengeführt und bilden in der Gesamtheit den Fußgänger. Die Klasse hat die Aufgabe das Verhalten eines Fußgängers widerzuspiegeln. Hierbei wurde im bereits entwickelten Modell der Fokus auf die richtige Bewegungsgeschwindigkeit sowie das Ansteuern von handlungsorientierten Zielen gelegt. Die Klasse *Citizen* bietet über die Klassen *Cognition* und *Constitution* Möglichkeiten an, das Verhalten des Agenten an psychische und/oder physische Modelle zu koppeln, was allerdings im Rahmen dieser Arbeit nicht berücksichtigt wurde. Das Verhalten des Agenten durch psychische oder physische Aspekte zu verfeinern, kann in zukünftigen Arbeiten durchgeführt werden.

Um das Bewegungsverhalten und die Suche von handlungsorientierten Orten zu gewährleisten, generiert sich der Agent in der Initialisierungsphase über die Klasse *Dayplan* einen Tagesplan inklusive Startzeiten, einen Wohnort und je nach beruflichem Status eine Arbeitsstätte. Innerhalb der *Reason()*-Methode, welche in jedem Tick<sup>1</sup> ausgeführt wird (Auflösung beträgt 1 Sekunde), wird das Erreichen der Startzeit der nächsten Handlung des Tagesplans geprüft. Ist diese überschritten, wird über den *MediatorLayer* ein Ziel für die auszuführende Handlung gesucht. Welche Örtlichkeiten der Agent aufsuchen kann, ist im Agenten selbst implementiert. So können in zukünftigen Arbeiten unterschiedliche

---

<sup>1</sup>Ein Tick ist ein Simulationsschritt. Innerhalb eines Ticks wird im Agenten, die in der *Reason()*-Methode aufgeführte Logik ausgeführt.

Fußgängertypen entwickelt werden, die für Handlungen ggf. an andere Modelle angepasste Orte aufsuchen. Wurde ein entsprechender Handlungsort ausgewählt, wird in jedem Tick die mögliche Geschwindigkeit des Agenten über die Klasse *Pedestrian* errechnet. Anschließend kann über die *MoveForward*-Methode des *SpatialGraphGeoGridAgent* der Agent bewegt werden. Dies wiederholt sich, bis der Tagesplan abgearbeitet wurde. Am Ende jeden Tages wird vom Agenten selbst ein neuer Plan über die Komponente *Dayplan* erstellt.

### 4.2 Erweiterung des Modells

In der Analyse wurden die erweiterten Anforderungen an das Status quo Modell erläutert, um das Smart Rescue Konzept anhand eines Modells untersuchen zu können (siehe Kapitel 3.2). Hierfür ist eine weitere Komponente gefordert, die die Alarmierung der Agenten im Bedarfsfall übernimmt. Das bestehende Modell soll hierbei in späteren Arbeiten weiter als Fußgängermodell des Smart Open Hamburg Projekts einsetzbar sein und darf daher im Grundkonzept nicht geändert werden.

Die Abbildung 4.3 zeigt die in der Erweiterung verwendete Lösung. Die Komponente des *Citizen* wird um eine Boolean-Variable erweitert, um einen Agenten als Helfer deklarieren zu können. Des Weiteren wird der Agent um die Methode *Alert()* zur Alarmierung im Einsatzfall erweitert. Die Klasse *PedestrianLayer*, die, wie in 4.1.2 erwähnt, für die Initialisierung der Agenten sorgt, wird um eine Variable *\_rescuer* erweitert, welche über den Konstruktor der Klasse gesetzt werden kann (Parameter *volunteers*). Über diesen Parameter bzw. diese Variable kann festgelegt werden, wie viele der erstellten Agenten als Helfer deklariert werden sollen. Die Erstellung der Agenten erfolgt in der Methode *InitLayer* in der gezeigten Abbildung. Zusätzlich zur Helferanzahl wird die Eigenschaft *PedestrianMap* ergänzt. Die Eigenschaft hält alle nach der Initialisierung erstellten Agenten inklusive der erstellten Helfer. Über diese öffentlich zugängliche Eigenschaft kann von der Zusatzkomponente *EmergencyLayer* auf die Agenten zugegriffen werden. Hierfür wird bei der Erstellung der Alarmierungskomponente eine Referenz auf die Klasse des *PedestrianLayers* mitgegeben. Innerhalb der *Tick*-Methode erfolgt sowohl die Generierung der Einsätze als auch die Alarmierung, nach den in 3.2 genannten Kriterien.

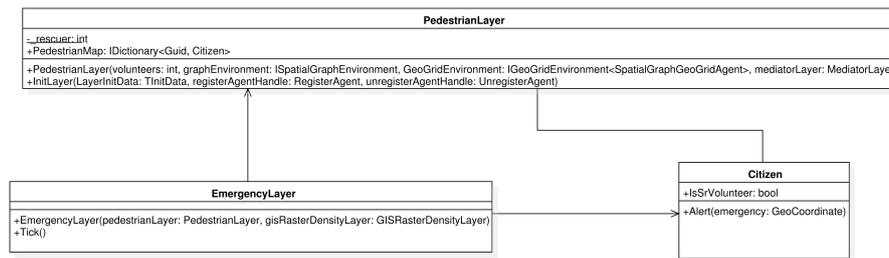


Abbildung 4.3: Design der Erweiterung nach den Anforderungen aus 3.2.

### 4.2.1 Heatmaps als Grundlage der Alarmierung

Als Grundlage der Alarmierungen sollen wie in 3.2 gefordert, die Ballungsräume der Agenten (Fußgänger) genutzt werden. Durch die vermehrte Alarmierung innerhalb bzw. im Umkreis von Ballungsräumen, soll der Zusammenhang zwischen *mehr Menschen gleich höhere Chance auf einen Notfall* modelliert werden. Hierfür sind zwei Ansätze denkbar. Der erste Ansatz zielt darauf ab, zur Laufzeit, bei Erstellung einer Alarmierung die komplette Umgebung zu analysieren und Ballungsräume zu identifizieren. Dies hätte den Vorteil, dass Agenten innerhalb von Ballungsräumen genau und gezielt alarmiert werden könnten. Der zweite Ansatz zielt darauf ab, im Vorhinein Heatmaps durch frühere Simulationsläufe zu generieren und die dortigen Ballungsräume als Eingabeparameter in die Simulation zu geben. Der Nachteil wäre hierbei die Genauigkeit für den gerade ausgeführten Simulationsdurchlauf. Ballungsräume würden zwar am selben Ort liegen, aber eine andere Form aufweisen. Der entscheidende Vorteil des zweiten Ansatzes ist der Performance-Gewinn. Zuvor generierte Heatmaps können während der Laufzeit einfacher und schneller durchsucht werden, wie Heatmaps, die erst noch generiert werden müssen. Des Weiteren erlaubt das aktuell eingesetzte Design keinen Zugriff auf die Informationen zur Generierung der Positionen innerhalb des *GeoGridEnvironments*. Es müsste über Umwege für jeden Agenten die Position abgefragt werden und daraus ein Grid erstellt werden. Aus diesem Grid könnte dann eine Heatmap erzeugt werden. Es wurde daher in dieser Arbeit der Ansatz der vorherigen Generierung von Heatmaps gewählt.

Für die Erstellung der Heatmaps wurden mit dem Status quo Modell (siehe 3.1 und 4.1.2) Simulationsläufe mit jeweils 100000 Agenten durchgeführt und anschließend mit Hilfe des GIS Quantum GIS (QGIS) Heatmaps erstellt. Die Ausgabedateien der Simulationsläufe, welche unter anderem die aktuelle Position der Agenten enthalten, wurden wie folgt zur Erstellung der Heatmaps verwendet:

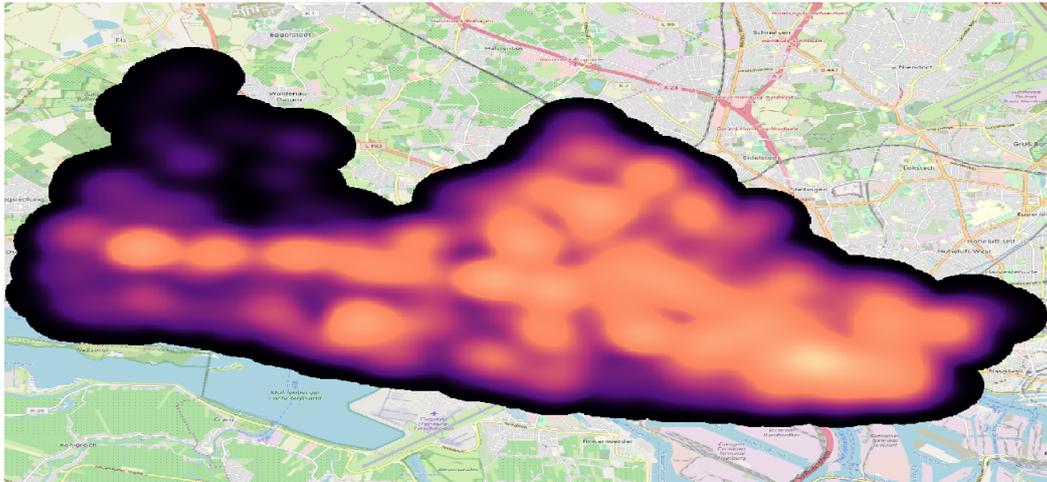


Abbildung 4.4: Heatmap in der Zeit von 6 bis 7 Uhr für den Bereich Altona generiert durch das GIS QGIS.

Im ersten Schritt wurden mittels eines R-Skriptes für jede volle Stunde die Daten aller Agenten aus den Ausgabedateien extrahiert. In jeder der 24 Dateien waren die Positionen der aktuellen Stunde aller 100000 Agenten gelistet. Im nächsten Schritt wurden die CSV-Dateien über das Werkzeug Quantum GIS zu Geojson-Dateien konvertiert. Hierbei musste das Zielkoordinaten-System von *EPSG:4326* auf *EPSG:3857* konvertiert werden. Dies hat den Hintergrund, dass die Daten im *EPSG:4326* in Grad vorliegen, für die Interpolation jedoch Daten in Metern vorliegen müssen. Im dritten Schritt wurde mit Hilfe des in QGIS integrierten Werkzeuges *Kernel Density Estimation* für jede Datei mit den Parametern *Radius = 1500*, *Columns = 750*, *Kernel-Shape = dreifach gewichten* und *Output value scaling = skaliert* eine Heatmap erzeugt. Anschließend wurde auf das Ergebnis ein einheitlicher Farbstil angewendet, um ein einheitliches Farbschema für jeden Wert zu erhalten (Der Stil ist im Anhang A.3 zu finden). Die Abbildung 4.4 zeigt eine generierte Heatmap innerhalb des Werkzeugs QGIS. Im vierten Schritt wurde die Heatmap als GeoTiff-Datei in das Zielkoordinatensystem *EPSG:4326* aus QGIS exportiert. Im letzten Schritt wurde jede exportierte Datei mittel R-Skript von GeoTiff zu ASC gewandelt und der Wert *novalue\_data* jeder ASC-Datei auf 0 gesetzt. Die Konvertierung von GeoTiff zu ASC wurde aufgrund der Gegebenheiten im MARS-Framework durchgeführt. Der im EmergencyLayer verwendete *GisRasterLayer* (siehe unten) kann als Eingabedatei lediglich ASC-Dateien verarbeiten.

Über diesen Weg wurde für jede Stunde eines Tages eine Heatmap erzeugt. Diese wird innerhalb der Simulation automatisch zur angegebenen Stunde ersetzt, sodass in jeder

Simulations-Stunde eine aktualisierte Heatmap zur Alarmierung vorliegt.

### 4.2.2 Implementierung EmergencyLayer

Der in Abbildung 4.3 gezeigte *EmergencyLayer* ist eine lose gekoppelte Komponente. Aufgebaut und initialisiert wird der Layer über den in 4.1 gezeigten Code. Der Konstruktor erhält während der Initialisierungsphase eine Referenz auf den *PedestrianLayer*, welcher Agenteninformationen über die *PedestrianMap* bereitstellt. Der übergebene *GISRasterDensityLayer* ist eine Ableitung der im MARS-Framework enthaltenen Komponente *GISRasterLayer*. Innerhalb des Layers wird für jeden Stunde die aktuelle Heatmap (siehe oben) gehalten. Die Variablen des *EmergencyLayers* entsprechen den Anforderungen aus 3.2. Der Alarmradius (*AlarmRadius*) ist für jede Alarmierung auf 400 Meter gesetzt. Die Variable *AlarmTimeIntervalInSec* gibt die Zeit in Sekunden an, innerhalb der alarmiert werden soll. Die hier gesetzten 1800 Sekunden bedeuten, dass innerhalb einer halben Stunde ein Einsatz generiert wird (somit 2 pro Stunde wie in 3.2 gefordert).

```
1 private long _tickToFireEmergency ;
2 private readonly PedestrianLayer _pedestrianLayer ;
3 private readonly GISRasterDensityLayer _densityLayer ;
4 private const int AlarmRadius = 400 ;
5 private const int AgentInDistanceToCheck = -1 ;
6 private GeoCoordinate _emergency = null ;
7 private const int AlarmTimeIntervalInSec = 1800 ; //30 min
8
9 [...]
10
11 public EmergencyLayer(PedestrianLayer pedestrianLayer ,
12     GISRasterDensityLayer gisRasterDensityLayer) {
13     _pedestrianLayer = pedestrianLayer ;
14     _densityLayer = gisRasterDensityLayer ;
15     _random = new Random() ;
16     _tickToFireEmergency = GetCurrentTick() +
17         GenerateRandomInTheNextIntervallMinutes() ;
18     EmergencyCount = 0 ;
19 }
```

Listing 4.1: Generierung von Einsätzen

Die Variable `_tickToFireEmergency` aus 4.1 beinhaltet den Tick für die Auslösung eines Alarms. Dieser wird über den aktuellen Tick plus eine generierte Sekundenanzahl nach 4.2 errechnet. Die Berechnung des auszulösenden Ticks für eine Alarmierung basiert darauf, dass der aktuelle Tick bei Erstellung einer Alarmierung plus ein zufälliger Sekundenwert innerhalb der nächsten halben Stunde (`AlarmTimeIntervalInSec = 1800`) gerechnet wird.

```
1 private int GenerateRandomInTheNextIntervallMinutes () {  
2     return _random.Next(1, AlarmTimeIntervalInSec);  
3 }
```

Listing 4.2: Randomisierte Generation einer Sekundenanzahl

Die `Tick()`-Methode wird nach Erreichen des in `_tickToFireEmergency` gespeicherten Tick-Wertes (siehe 4.3 Zeile 5 ff.) einen Notfall erstellen und versuchen, einen Agenten zu alarmieren. Die Implementierung ist in 4.3 aufgeführt.

Nach Erreichen des Tick-Wertes zur Generierung eines Einsatzes wird der maximale Zellwert des `GISRasterDensityLayer` bestimmt. Der maximale Zellwert des Layers entspricht dem hellsten Punkt auf der gerade verwendeten Heatmap. Dieser Punkt gibt die maximale Agentenanzahl innerhalb des Radius an, mit dem die Heatmap erstellt wurde (siehe Heatmaps als Grundlage der Alarmierung (4.2.1)). Die erweiterten Anforderungen aus Kapitel 3.2 legen fest, dass nur innerhalb oder in der Nähe von Ballungsräumen alarmiert werden soll. Daher wurden nur Koordinaten in Betracht gezogen, deren Zellwert im `GISRasterDensityLayer` höher als 80% des maximal Zellwertes ist. Somit ist sicher gestellt, dass nur Koordinaten alarmiert werden, welche sich innerhalb oder in der Nähe von Ballungsräumen befinden (Zeilen 11-13). Nachdem eine Koordinate für einen Einsatz gefunden wurde, wird geprüft, ob im SGE (vgl. SGE im Kapitel 4.1.1 und 4.1.2) der Punkt vom Agenten erreicht werden kann, indem die Prüfung auf eingehende Kanten zum gewünschten Punkt durchgeführt wird. Weist der Knoten keine eingehenden Kanten auf, wird ein neuer Einsatzort bestimmt. Somit wird verhindert, dass ein Agent zu einem Einsatz alarmiert wird, den er niemals erreichen könnte. Für die Alarmierung werden in Zeile 26 - 31 aus der im `PedestrianLayer` enthaltenen `PedestrianMap` Agenten gefiltert, die zum einen als Helfer markiert sind und sich zum Anderen innerhalb von 400 Metern um den Einsatzort befinden. Im Anschluss wird für alle gefilterten Agenten iterativ die Route zum Einsatzort bestimmt und geprüft, ob der Agent innerhalb von 180 Sekunden

am Einsatzort sein könnte. Ist dies der Fall, wird der Agent alarmiert (Zeile 42) und die weitere Berechnung von Routen folgender Agenten abgebrochen. Im Anschluss wird eine neue Zeit zur Generierung eines Einsatzes berechnet, indem der aktuelle Tick mit dem Rest der verbleibenden 1800 Sekunden plus einen neuen Zufallswert innerhalb von 1800 Sekunden addiert wird. Dies sorgt dafür, dass pro halbe Stunde eine randomisierte Zeit für eine Alarmierung generiert wird.

```
1 public void Tick() {
2     EmergencyCoordinate = string.Empty;
3     AlarmedAgents = string.Empty;
4     if (GetCurrentTick() < _tickToFireEmergency) {
5         return;
6     }
7     var maxCellValue = (double) _densityLayer.Grid.Values.Max();
8
9     if (maxCellValue > 0) {
10        var potentialEmergency = _densityLayer.
11            GetClosestCellWithValue(_pedestrianLayer.
12                GraphEnvironment.GetRandomNode().Coordinate, r => r >
13                    maxCellValue * 0.8, -1);
14        var nodeOfEmergency = _pedestrianLayer.GraphEnvironment.
15            GetNearestNode((GeoCoordinate) potentialEmergency);
16        while (nodeOfEmergency.IncomingEdges.Count == 0) {
17            potentialEmergency =
18                _densityLayer.GetClosestCellWithValue(
19                    _pedestrianLayer.GraphEnvironment.
20                        GetRandomNode().Coordinate, r => r >
21                            maxCellValue * 0.8, -1);
22            nodeOfEmergency = _pedestrianLayer.
23                GraphEnvironment.GetNearestNode((
24                    GeoCoordinate) potentialEmergency);
25        }
26        _emergency = nodeOfEmergency.Coordinate;
27    }
28 }
29
```

```
20 [...]
21
22 var agents = _pedestrianLayer.GeoGridEnvironment.Explore(
    _emergency, AlarmRadius, AgentInDistanceToCheck, (agent) => {
23     if (agent is Citizen citizen) {
24         return citizen.GetIsSrVolunteer();
25     }
26     return false;
27 });
28 var agentsAsList = agents.ToList();
29 var alarmedAgents = new List<Citizen>();
30 foreach (var spatialGraphGeoGridAgent in agentsAsList) {
31     var agent = (Citizen) spatialGraphGeoGridAgent;
32     var route = _pedestrianLayer.GraphEnvironment.FindRoute(
33         _pedestrianLayer.GraphEnvironment.GetNearestNode
            (agent.GeoCoordinate),
34         _pedestrianLayer.GraphEnvironment.GetNearestNode
            (_emergency));
35     if (route == null || !route.Any()) {
36         continue;
37     }
38     var timeToGoal = CalculateDistance(route) / (
            HumanVelocities.MeanValueRunFemale - HumanVelocities
            .DeviationWalkFemale);
39     if (!(timeToGoal <= 180)) {
40         continue;
41     }
42     agent.Alert(_emergency);
43     alarmedAgents.Add(agent);
44     break;
45 }
46 var points = alarmedAgents.Select(x => new Point(x.Longitude, x.
    Latitude)).ToArray();
47 AlarmedAgents = alarmedAgents.Count.ToString();
48 _tickToFireEmergency = _currentTick + (AlarmTimeIntervalInSec -
    _currentTick%AlarmTimeIntervalInSec) +
```

```
GenerateRandomInTheNextIntervallMinutes ();  
49 _emergency = null ;  
50 EmergencyCount++;}
```

Listing 4.3: Tick()-Methode des Emergencylayers.

### Verifikation EmergencyLayer

In den letzten beiden Abschnitten wurde die Entwicklung der Einsatzgenerierung auf Basis von Heatmaps erläutert. Die Abbildung 4.5 zeigt die Verteilung aller für einen Tag generierten Einsätze. Die in der Abbildung zugrunde liegende Heatmap stellt hierbei nur ein Repräsentativ dar und bildet nicht die aktuellen Ballungsräume für jeden generierten Einsatz dar. Dennoch ist auf der die Abbildung zu erkennen, dass die Einsätze vermehrt in der rechten Hälfte der Heatmap generiert werden. Dies hat den Hintergrund, dass der Westen Altonas einen höheren Anteil an Wohngebäuden, der östliche Teil hingegen vermehrt Gebäude zum Wohnen und Arbeiten (Mischgebäude) aufweist. Während des Tages verlassen nach [30] vermehrt Agenten ihre Wohnbereiche, um ihrer Arbeit nachzugehen. Die entstehenden Ballungsräume von Agenten werden dementsprechend über den Tag verteilt eher im östlichen Teil Altonas zu finden sein. Das Ergebnis konnte durch mehrere Simulationsläufe verifiziert werden. In jedem Durchlauf ergab sich eine ähnliche Verteilung der Einsätze im Verlauf eines Tages (von West nach Ost zunehmend). Die randomisierte Generierung von Einsätzen auf Basis von Ballungsräumen kann somit für das Smart Rescue Modell und die Anforderung F13 aus 3.2.1 verifiziert werden.

#### 4.2.3 Implementierung Helfer (Smarter Retter)

Die Implementierung der bestehenden Klasse *Citizen* wurde bereits näher erläutert [30]. Es wird im Folgenden die Erweiterung zum Helfer erklärt.

Wie eingangs im Kapitel erläutert, erhält der Agent eine Boolean-Variable *IsSrVolunteer*, um einen Agenten als Helfer deklarieren zu können. Über die in 4.4 gezeigten Methoden kann der Agent zum einen vom *EmergencyLayer* alarmiert werden (Zeile 1) und nach Erreichen des Einsatzortes über *RelaxAgent()* wieder „zurück gesetzt“ werden (Zeile). Die *Alert()*-Methode erwartet vom *EmergencyLayer* eine Koordinate für den Einsatzort. Der Agent wird anschließend zusätzlich zur Alarmierungskomponente prüfen, ob er selbst ein

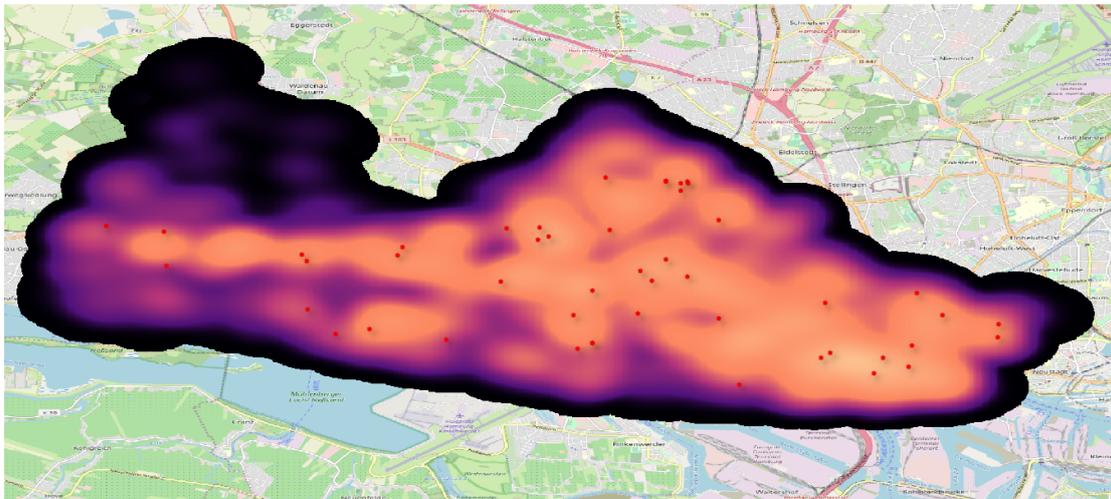


Abbildung 4.5: Verteilung aller Einsätze eines Tages am Beispiel der Heatmap von 6 Uhr morgens.

Helfer ist, um ungewollte Nutzung der Alarmierung in zukünftigen Arbeiten zu vermeiden. Anschließend berechnet der Agent eine Route zum Einsatzort und beginnt über die Funktion *LetAgentRun()* seine Geschwindigkeit auf seine Laufgeschwindigkeit zu erhöhen. Nach Erreichen des Einsatzortes (siehe Implementierung 4.5) setzt sich der Agent selbstständig aus seinem alarmierten Zustand zurück in den „Normalzustand“. Die Methode *LetAgentGoNormal()* (Zeile 14) setzt die Geschwindigkeit des Agenten zurück auf die Gehgeschwindigkeit.

```

1 public void Alert(GeoCoordinate emergency){
2   if (!IsSrVolunteer){return;}
3   if (Alarmed){return;}
4   Alarmed = true;
5   CurrentRoute = CalculateRoute(emergency);
6   [...]
7   LetAgentRun();
8 }
9
10 public void RelaxAgent(){
11   [...]
12   Alarmed = false;
13   [...]
14   LetAgentGoNormal();

```

15 }

Listing 4.4: Methoden zur Alarmierung eines Helfers

```
1 protected override void Reason(){
2   var currentSimTime = _layer.GetCurrentSimulationTime();
3   if (Alarmed && IsSrVolunteer){
4       if (EndOfRouteReached != true){
5           CalculateVelocity(CurrentRoute.FirstOrDefault().
6               Item1);
7           var updatedRoute = MoveForward(CurrentRoute,
8               Velocity, true);
9           CurrentRoute = updatedRoute;
10      }
11      else{
12          RelaxAgent();
13          var coordinateToGo = GetCoordinateForAction(
14              _currentAction);
15          CurrentRoute = CalculateRoute(coordinateToGo);
16          EndOfRouteReached = false;
17      }
18  }
19  [...]
```

Listing 4.5: Erweiterung der Reason()-Methode des Citizen-Agent

Die *Reason()*-Methode des *Citizen*, die in jedem Tick der Simulation ausgeführt wird, wurde um das folgende Verhalten erweitert: Nachdem der Agent über *Alert()* aus 4.4 alarmiert wurde, bewegt sich der Agent unter Berücksichtigung der Geschwindigkeit zum Einsatzort (Zeilen 4 - 8). Ist der Agent am Einsatzort angekommen, wird er im nächsten Aufruf der *Reason()*-Methode seine Geschwindigkeit auf die Gehgeschwindigkeit zurücksetzen und seiner ursprünglichen Handlung nachgehen.

## 5 Experimente

In diesem Kapitel werden Experimente zum Testen der in 1.1 gestellten Hypothesen aufgestellt. Es werden neben dem zu simulierenden Bereich, Experimente und Erwartungen formuliert. Die Ergebnisse werden in Kapitel 6 präsentiert und in Kapitel 7 diskutiert.

### 5.1 Simulierter Bereich

Die Experimente werden innerhalb des Stadtbezirks Altona der Hansestadt Hamburg simuliert. Der Stadtbezirk erstreckt sich über 77 Quadratkilometer im westlichen Teil Hamburgs und grenzt an das Bundesland Schleswig-Holstein. Altona gliedert sich in weitere 14 Unterstadtteile, wie beispielsweise Bahrenfeld, Nienstedten etc.. Altona wird für diese Arbeit als ein Stadtteil/Stadtbezirk betrachtet. Die Unterstadtteile werden nicht weiter im Detail vertieft. Die Einwohnerzahl Altonas beläuft sich nach dem Bericht des Statistikamtes Nord auf 270263 Einwohner [43]. Im Rahmen des *Smart Open Hamburg-*

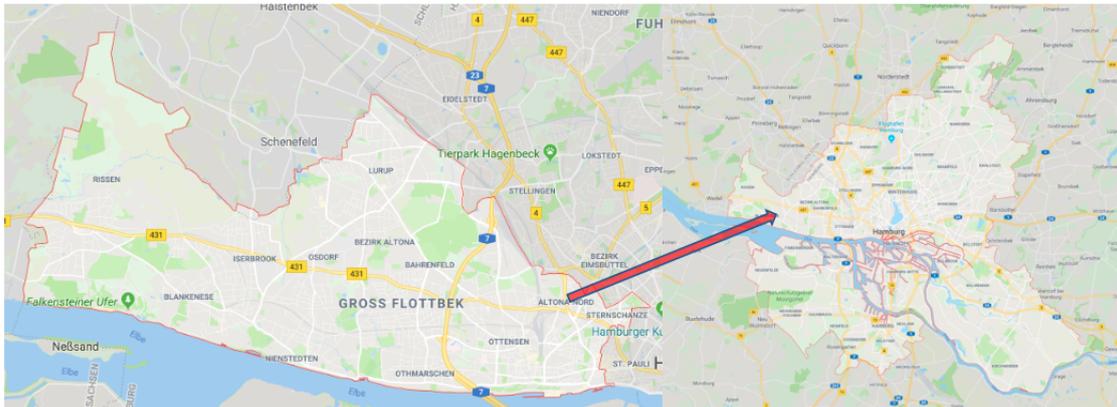


Abbildung 5.1: Stadtbezirk Altona der Hansestadt Hamburg (Quelle: Google Maps)

Projektes wurde für erste Entwicklungen und Tests der Stadtteil Altona ausgewählt, da dieser viele der im Projekt zu betrachtenden Simulationsaspekte abdecken kann. Durch

die hohe Pendlerzahl des angrenzenden Bundeslandes, einem sehr gut ausgebauten öffentlichen Nahverkehr und die durchquerende Bundesstraße B431 können eine Vielzahl von Untersuchungen an das multi-modale Verkehrssimulationsmodell angestellt werden.

## 5.2 Experimente der Hypothese H1

Das bisherige Modell wurde in [29] und [30] ausschließlich für den Stadtteil Bramfeld getestet. Bramfeld ist ebenfalls ein Stadtteil der Hansestadt Hamburg und befindet sich im Nordosten der Stadt. Das bereits entwickelte Modell konnte für Bramfeld validiert und verifiziert werden. Zur Überprüfung der Hypothese H1 (Tauglichkeit des Basismodells für den Smart Rescue Kontext) muss das Modell für den Stadtteil Altona geprüft werden. Hierbei stehen die folgenden Experimente im Vordergrund:

### 5.2.1 Geschwindigkeit des Fußgängers

Die Geschwindigkeit ist der essentielle Faktor für eine erfolgreiche Rettung. Die Strecke sowie die gelaufene Geschwindigkeit bilden den zeitlichen Faktor. Die Grenze von drei Minuten darf aufgrund der in 2.1 genannten Folgeschäden eines im Smart Rescue Modell relevanten Einsatzes nicht überschritten werden. Die zu laufende Strecke ist durch die Straßeninfrastruktur und den generierten Einsatz vorgegeben und kann nicht geändert werden. Der verwendete Algorithmus zur Routenfindung wurde nach Standardalgorithmen zur Routenfindung in der Informatik aus dem SGE verwendet (siehe[53]).

Es werden zum Test der Geschwindigkeit Simulationsläufe mit 100000 Agenten durchgeführt. In den ersten Simulationsläufen wird die Gehgeschwindigkeit der Agenten getestet. Im zweiten Schritt werden sich alle Agenten ausschließlich mit der Laufgeschwindigkeit fortbewegen.

### Erwartungen

Das Ziel des Experiments ist es, zu zeigen, dass die Agenten ihre Geschwindigkeit nach der Normalverteilung von Weidmann berechnen [51]. Des Weiteren wird erwartet, dass einige Agenten durch andere verlangsamt werden. Der Erwartung nach werden die Werte der Geschwindigkeiten für das Gehen im Bereich  $1.27m/s \pm 0.245m/s$  für Frauen und  $1.41m/s \pm 0.272m/s$  für Männer liegen. Das Laufen/Rennen sollte im Bereich  $3.71m/s \pm$

0.716m/s für Frauen und  $3.98m/s \pm 0.768m/s$  für Männer liegen. Zudem sind einige Abweichungen unterhalb der Untergrenze für jedes Geschlecht möglich (Verlangsamung durch andere Agenten).

### 5.2.2 Zielauswahl des Fußgängers

Die handlungsorientierte Zielauswahl ist ein grundlegender Aspekt zur Herstellung der Bewegungsdynamik. In vorangegangenen Arbeiten konnte bereits gezeigt werden, dass der Agent aufgrund von geospatialen Daten Ziele auf Basis seiner Handlung ansteuert [30]. In diesem Experiment soll die handlungsorientierte Zielauswahl ebenfalls für den Stadtteil Altona getestet werden, um so indirekt stichprobenartig die zugrunde liegenden Daten zu testen. Findet der Agent für Handlungen entsprechende Ziele, ist eine der Voraussetzungen für das Bewegungsverhalten gegeben.

Für das Experiment werden 100000 Agenten simuliert. Anschließend werden stichprobenartig aus den Ausgabedaten Agenten ausgewählt und für ihre jeweiligen Handlungen die Ziele visualisiert.

### Erwartungen

Wie bereits in der vorangegangenen Arbeit gezeigt, ist zu erwarten, dass Agenten sich handlungsorientiert Ziele suchen. Dabei werden sich die Agenten direkt zu den Zielen bewegen und vor diesen stehen bleiben. Als Beispiel für mögliche Ziele der Handlung *Errands*, wäre das Aufsuchen eines Rathauses, eines Bankautomaten, eines Briefkastens uvm. möglich. In den Fällen, dass ein Agent in einem Umkreis für seine Handlung keine Möglichkeit findet, diese zu erfüllen, wird der Agent zu einem beliebigen Gebäude in der Nähe laufen. Dieser Fall wäre nach der Implementierung von Löffler denkbar, aber aufgrund der Daten nicht zu erwarten [30].

### 5.2.3 Tagesrhythmus der Agenten

Eine akzeptabler korrekter Tagesrhythmus eines Agenten ist eine weitere Voraussetzung zum Generieren von Bewegungsverhalten. Anhand des Tagesrhythmus wird der Agent

Handlungen durchführen und sich so durch die handlungsorientierte Zielsuche zu Zielen bewegen. Das Gesamtverhalten aller Agenten, die jeweils ihren eigenen Tagesplan verfolgen, bildet somit das Gesamtverhalten des Stadtteils.

Es werden für dieses Experiment 100000 Tagesabläufe unabhängig einer Simulation generiert. Hierbei wird der Fokus auf die Erwerbstätigkeit gelegt, da dies die größte Gemeinsamkeit aller Agenten ist. Im Anschluss werden die generierten Zeiten in der Anzahl akkumuliert und mit den Wegezwecken der Studie *Mobilität in Deutschland* verglichen [11]. Im zweiten Schritt des Experiments werden 100000 Agenten simuliert und anschließend das Verhalten aller arbeitenden Agenten ausgewertet. Hierbei wird wieder der Fokus auf die Handlung *Work* gelegt. Es soll hierfür die Anzahl der arbeitenden Agenten innerhalb der Simulation zu der Uhrzeit des simulierten Tages berechnet werden.

### Erwartungen

Die Anzahl der Startzeiten für den Beginn einer Arbeit wird in den frühen Morgenstunden bis hin zum Mittag steigen. Gegen Mittag ist aufgrund der Mittagspause zu erwarten, dass nur eine geringe Menge an Anfangszeiten für den Start der Arbeit generiert werden. Gegen Mittag/Nachmittag sollte diese jedoch wieder zunehmen. Ab dem späten Nachmittag bzw. Abend wird die Anzahl an Startzeiten auf ein konstantes Level sinken. Die Anzahl der arbeitenden Agenten in Abhängigkeit zur Uhrzeit innerhalb der Simulation wird ebenfalls in den frühen Morgenstunden stetig steigen und ab dem Mittagszeitraum fallen. Es ist ein Einbruch aufgrund der von den vollzeitbeschäftigten Agenten durchgeführten Mittagspause zu erwarten. Gegen Nachmittag und Abend nimmt die Anzahl arbeitender Agenten ab.

#### 5.2.4 Gesamtverhalten der Agenten

Für die Untersuchung des Gesamtverhaltens des Stadtteils werden 10000 Agenten simuliert. Die Agentenanzahl wurde aufgrund der Erfahrung aus den vorangegangenen Arbeiten gesetzt [29][30]. Die niedrigere Agentenanzahl soll einen besseren Überblick liefern. Im Anschluss an die Simulation werden die Positionen der einzelnen Agenten in der Gesamtheit über die Zeit betrachtet. Hierbei soll das Gesamtbild aller Positionen zu unterschiedlichen Tageszeiten, vorzugsweise morgens, mittags, spätnachmittags und abends betrachtet werden, um einen merklichen Unterschied zwischen den Zeiten feststellen zu können.

### Erwartungen

Innerhalb der Auswertung werden verschiedene Ballungsräume für die unterschiedlichen Zeiten erwartet, welche sich von West nach Ost entwickeln. Der westliche Teil Altonas ist überwiegend von Wohnbereichen geprägt. In Richtung Zentrum von Hamburg zunehmend, sind vermehrt Mischgebäude anzutreffen. Entlang der Bundesstraße 431 wird ebenfalls erwartet, dass wenig Veränderungen über die Tageszeit hinweg entstehen, da hier ebenfalls viele Mischgebäude angesiedelt sind. Für Wohnbereiche wird zudem erwartet, dass in den Morgen- sowie Abendstunden vermehrt Ballungsräume erkennbar sind. Tagsüber sollte hier die Dichte an Agenten abnehmen, da davon ausgegangen wird, dass Agenten ihrer Arbeit nachgehen bzw. durch den Tagesplan unterwegs sind.

## 5.3 Experimente der Hypothese H2

Die zweite Hypothese besagt, dass es möglich ist, einen Schwellwert zu ermitteln, bei dem 95% aller Einsätze von Helfern bedient werden können. Um diese Hypothese zu prüfen, soll eine dreischrittiges Experiment zur Ermittlung des Schwellwerts durchgeführt werden.

### 5.3.1 Initiale Berechnung der Helfer

Zunächst wird die initiale Helferanzahl berechnet. Hierfür wird angenommen, dass die Agenten sich mit einer Gleichverteilung über die Fläche Altonas verteilen. Diese Annahme ist aufgrund der Entstehung von Ballungsräumen falsch, wird aber dennoch verwendet, um einen Initialwert für Helfer errechnen zu können. Dies würde für eine Alarmierungsradius von  $r = 0,4km$  bei einer Gesamtfläche von  $77,4km^2$  eine Helferanzahl von ca. 154 Helfern ergeben (siehe 5.1 und 5.2).

$$A = \pi * r^2 = \pi * 0.4km^2 \approx 0.502655km^2 \quad (5.1)$$

$$Anzahl = A_{Gesamt}/A_{Alarmierung} = 77.4km^2/0.502655km^2 \approx 153.98 \quad (5.2)$$

Es werden mehrere Simulationsdurchläufe mit 154 Agenten durchgeführt. Dabei ist jeder Agent zeitgleich ein Helfer. Anschließend wird aus den Ausgabedaten der Anteil der Einsätze errechnet, welche bedient werden konnten. Damit ein Einsatz als bedient gilt,

muss innerhalb von drei Minuten ein Helfer eingetroffen sein (siehe Negation von F12 in Abschnitt 3.2).

### **Erwartungen**

Voraussichtlich werden nicht 95% der Einsätze bedient werden können. Wie in der Beschreibung der initialen Berechnung erwähnt, werden Ballungsräume vorliegen und somit keine Gleichverteilung der Agenten gegeben sein. Über die Anzahl der bedienten Einsätze in Prozent kann an dieser Stelle keine Vermutung abgegeben werden, da, wie bereits erwähnt, sich die Verteilung der Agenten in der Annahme von denen in der Simulation gravierend unterscheidet.

### **5.3.2 Erhöhung der Helferanzahl**

Der zweite Schritt sieht die sukzessive Erhöhung der Helferanzahl vor. Hierbei wird die Helferanzahl für jeden Schritt um 500 Helfer erhöht, simuliert und anschließend ausgewertet. Können die geforderten 95% der Einsätze nicht bedient werden, wird wieder um 500 Helfer erhöht. Können jedoch 95% bedient werden, so wird die Agentenanzahl nach dem Prinzip der binären Suche ermittelt.

### **Erwartungen**

Die Erwartung an den zweiten Schritt des Experimentes ist die erfolgreiche Überprüfung der Hypothese H2. Es wird erwartet, dass sich innerhalb des Experimentes ein Wert ermitteln lässt, für den die Abdeckung der Einsätze in den durchgeführten Simulationsdurchläufen nicht unter die 95% Marke fällt. Dies beruht auf der Annahme, dass, je mehr Helfer sich in einem definierten Bereich aufhalten, die Strecken des dichtesten Helfers zu einem Einsatzort verkürzt werden. Bei einer gewissen Sättigung sind demnach alle Strecken so kurz, dass trotz möglicher Verlangsamung die Agenten innerhalb kurzer Zeit am Einsatzort sein können.

### 5.3.3 Simulation der gesamten Bevölkerung Altonas

Dieser Schritt des Experiments baut darauf auf, dass die Erwartungen aus Schritt 2 (Erhöhung der Helferanzahl) erfolgreich waren. Es wird nicht mehr vorgesehen, den Schwellwert empirisch zu ermitteln, sondern die Einwohneranzahl (270263) Altonas mehrfach zu simulieren. Von den Einwohnern sollen hierbei so viele Agenten als Helfer deklariert werden, wie im Schritt 2 des Experiments ermittelt wurden. Dieses Experiment soll bei erfolgreichem Ausgang zeigen, dass der Schwellwert auch innerhalb einer Simulation mit sehr viel mehr Agenten die 95% Marke erreicht.

#### Erwartungen

Die Erwartung an den dritten Schritt des Experiments ist, dass die 95% Marke ebenfalls erreicht wird, da die Bedingungen nur minimal geändert werden. Durch die höhere Agentenzahl in der Simulation kann davon ausgegangen werden, dass sich die Agenten gegenseitig verlangsamen. Dadurch, dass aber im Schritt *Erhöhung der Helferanzahl* eine ausreichende Helferanzahl ermittelt wurde, wird davon ausgegangen, dass sich Helfer fast immer in unmittelbarer Nähe befinden und so die Strecke zum Einsatzort sehr kurz ist (siehe Erwartungen des Schrittes *Erhöhung der Helferanzahl*).

## 6 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Experimente der Hypothesen H1 und H2 aus Kapitel 5 präsentiert. In Kapitel 7 werden diese diskutiert.

Für die Simulationen wurden aufgrund technischer Performance zwei unterschiedliche Systeme genutzt. Bis zu einer Agentenanzahl von 10000 wurde auf einem Desktop-System der Hochschule für Angewandte Wissenschaften simuliert. Das Desktop-System weist die technische Daten der Tabelle 6.1 auf.

<b>CPU</b>	Intel Core i5-3450 @ 3.1GHz (4 logische Kerne)
<b>RAM</b>	32GB DDR3-1600 SDRAM
<b>Speichermedium</b>	Samsung SSD 840 EVO
<b>OS</b>	Microsoft Windows 10 Enterprise (x64) Build 17763.107

Tabelle 6.1: Desktop-System für Agentenzahlen bis 10000

Für Simulationsläufe mit mehr als 10000 Agenten wurde das Desktop-System mit den technischen Daten aus Tabelle 6.2 verwendet.

<b>CPU</b>	Intel Core i7-8700k @ 3.7GHz (6 logische Kerne, 6 virtuelle Kerne)
<b>RAM</b>	16GB DDR4-2400 SDRAM
<b>Speichermedium</b>	Samsung SSD 840 EVO
<b>OS</b>	Microsoft Windows 10 Education (x64) Build 17134.829

Tabelle 6.2: Desktop-System für Agentenzahlen ab 10000

Simulationsergebnisse wurden während der Simulation über den im LIFE MARS Framework integrierten Result-Adapter in zwei CSV-Dateien (Emergencylayer und Citizen) geschrieben. Die Auflösung der Simulation betrug eine Sekunde. Die Frequenz zum Heraus schreiben der Daten betrug 60 Sekunden. Somit wurden minütlich (hiermit ist eine Minute in der Simulation gemeint) Werte in die CSV Datei geschrieben. Die Werte wurden absichtlich nicht sekundlich herausgeschrieben, da die Schreibvorgänge die Simulation

zeitlich bremsen und die sekundlichen Werte für die Validierung der richtigen Initialisierung sowie der Funktionsweise des Modells nicht nötig sind. Die Simulationszeiten unterschieden sich aufgrund der unterschiedlichen Agentenanzahl. Die längste Simulationszeit war die Zeit für das Experiment H2 Schritt 3. Die Simulation betrug hier knapp 7.5 Tage für einen Durchlauf.

### 6.1 Ergebnisse Hypothese H1

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Experimente für die Hypothese H1 präsentiert und beschrieben.

#### 6.1.1 Geschwindigkeit des Fußgängers

Für die Gehgeschwindigkeit konnte in den Simulationsdurchläufen das Ergebnis aus Abbildung 6.1 generiert werden. Die Geschwindigkeit, die über eine Normalverteilung berechnet wird, wurde als Boxplot mit Hilfe eines R-Skriptes dargestellt. Die Abbildung zeigt für jedes Geschlecht die in der Simulation gegangene Geschwindigkeit. Die Spannweite beträgt in der Abbildung 6.1 für das männliche Geschlecht  $0.12m/s$  bis  $1.7m/s$  und für das weibliche Geschlecht  $0.12m/s$  bis  $1.52m/s$ . Der Median bei den Männern liegt bei  $1.41m/s$  und bei den Frauen bei  $1.27m/s$ . Das Minimum liegt bei  $1.05m/s$  bei den Frauen und bei  $1.17m/s$  bei den Männern. Das Maximum liegt bei  $1.48m/s$  bei den Frauen und bei  $1.65m/s$  bei den Männern. Zusätzlich sind bei beiden Geschlechtern vermehrt Ausreißer unterhalb des Minimums zu erkennen. Die Ergebnisse der Simulationsdurchläufe mit der Lauf- bzw. Renngeschwindigkeit sind in Abbildung 6.2 dargestellt. Wie auch bei der Gehgeschwindigkeit wird die Geschwindigkeit über eine Normalverteilung berechnet. Für die Darstellung wurde dasselbe R-Skript verwendet. Die Abbildung zeigt wieder für jedes Geschlecht spezifisch die gelaufene Geschwindigkeit. Die Spannweite beträgt hier für das männliche Geschlecht  $0.45m/s$  bis  $4.75m/s$  und für das weibliche Geschlecht  $0.4m/s$  bis  $4.6m/s$ . Der Median bei den Männern liegt bei  $3.98m/s$  und bei den Frauen bei  $3.81m/s$ . Das Minimum liegt bei  $3.15m/s$  für das weibliche und bei  $3.29m/s$  für das männliche Geschlecht. Das Maximum liegt bei  $4.49m/s$  bei den Frauen und bei  $4.61m/s$  bei den Männern. Zusätzlich sind bei beiden Geschlechtern ebenfalls vermehrt Ausreißer unterhalb des Minimums zu erkennen.

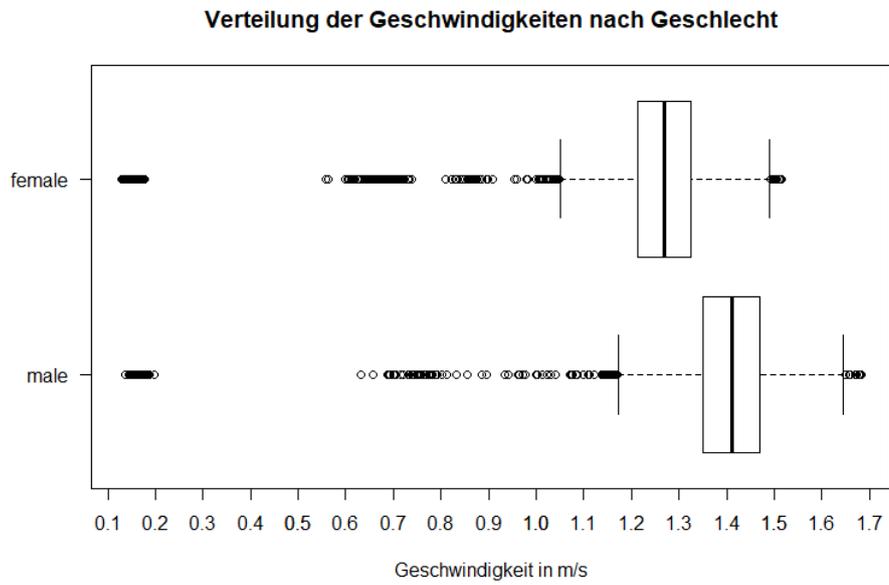


Abbildung 6.1: Geschwindigkeitsverteilung der Agenten für das Gehen.

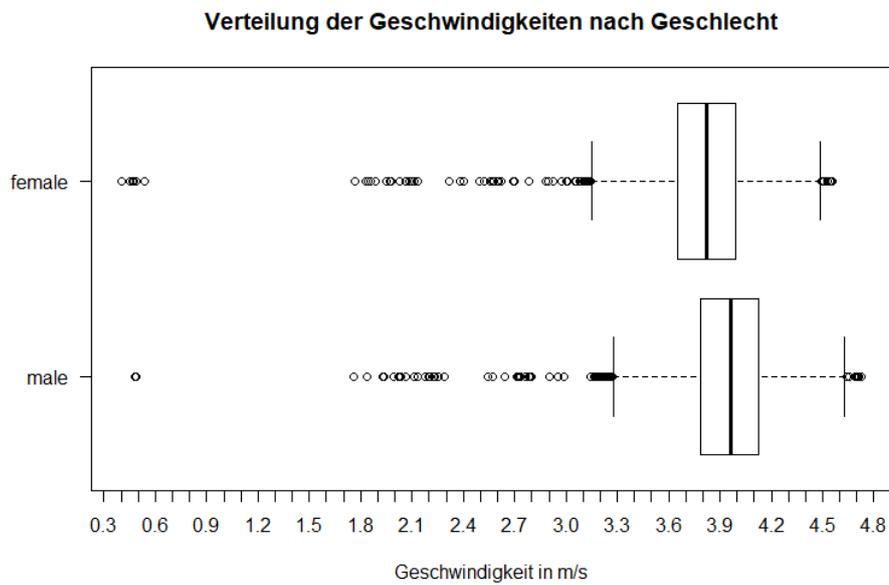


Abbildung 6.2: Geschwindigkeitsverteilung der Agenten für das Rennen.

### 6.1.2 Zielauswahl des Fußgängers

Im Experiment der Zielauswahl wurden Simulationsdurchläufe mit 100000 Agenten durchgeführt. Anschließend wurden die Positionen der Bewegungen der Agenten mit einem R-Skript stichprobenartig aus der Ausgabemenge extrahiert und in einer separaten CSV-File abgespeichert. Anschließend wurde die CSV-Datei in GIS QGIS importiert und die Endpunkte jeder Bewegung eines Tages visualisiert. Hierbei ist in Abbildung 6.3 a das Ziel für die Handlung *Eat* eines Agenten dargestellt. Der Agent befindet sich hier in der Nähe des *Meckys Bistro-Cafe & Backshop*. In der Abbildung b ist das Ziel der Handlung *Errands* eine Hamburger Sparkasse. Die Abbildung c zeigt die Zielauswahl für die Handlung *FreeTime*. Das Ziel ist das Volksparkstadion in Hamburg. Die Abbildung d zeigt den Arbeitsort eines Agenten. Der Agent hat hier für die Handlung die *MTG Foodtrading GmbH* gewählt. Die letzte Abbildung zeigt den Wohnort des Agenten (Hausnummer 9). In den Abbildungen ist ersichtlich, dass Agent immer jeweils vor den Gebäuden bzw. in



Abbildung 6.3: Agenten suchen Ziele nach eigenem Handlungsbedarf.

der Nähe dieser stehen bleibt. Gründe hierfür werden in dem Kapitel 7 näher erläutert.

### 6.1.3 Tagesrhythmus der Agenten

Im ersten Schritt des Experiments wurden 100000 Tagesabläufe generiert und mittels eines R-Skriptes visualisiert (siehe Abbildung 6.5). Die Abbildung 6.4 zeigt die Wegezwecke in Abhängigkeit der befragten Personen der MiD-Studie [11]. Aus der Abbildung

Basis: Wege									
Spalten % (gewichtet)	Total	Wegezweck mit nach Hause und Rückwegen							
		Erreichen des Arbeitsplatzes	Einkauf	private Erledigung	Freizeitaktivität	nach Hause	Rückweg vom vorherigen Weg	anderer Zweck	keine Angabe
Basis ungewichtet	900.162	78.002	101.482	90.844	165.821	331.282	14.171	23.392	2.594
Basis gewichtet	881.503	80.352	94.034	84.159	153.546	326.841	12.793	22.125	2.389
Startzeit des Weges gruppiert									
frühmorgens (5 bis vor 8 Uhr)	11 %	60 %	4 %	4 %	3 %	2 %	3 %	9 %	5 %
morgens (8 bis vor 10 Uhr)	12 %	19 %	21 %	19 %	10 %	5 %	9 %	18 %	15 %
vormittags (10 bis vor 13 Uhr)	20 %	7 %	31 %	28 %	20 %	19 %	31 %	23 %	19 %
mittags (13 bis vor 16 Uhr)	23 %	7 %	21 %	25 %	27 %	24 %	32 %	23 %	21 %
nachmittags (16 bis vor 19 Uhr)	23 %	2 %	20 %	19 %	27 %	32 %	19 %	20 %	20 %
abends (19 bis vor 22 Uhr)	8 %	1 %	3 %	4 %	11 %	13 %	4 %	6 %	7 %
nachts (22 bis vor 5 Uhr)	3 %	3 %	0 %	1 %	2 %	5 %	2 %	1 %	2 %
keine Angabe	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	1 %	10 %
Total	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

Abbildung 6.4: Wegzweck der in der Studie *Mobilität in Deutschland* [11] befragten Personen in Abhängigkeit zur Uhrzeit.

6.5 geht hervor, dass die Anzahl der Startzeiten für die Handlung *Work* zwischen ca. 5 Uhr morgens bis ca. 10 Uhr stark ansteigen. Zwischen der Uhrzeit 4 und 5 ist ein sprunghafter Anstieg zu erkennen. Um die Mittagszeit herum sinkt die Anzahl der Startzeiten für das Arbeiten. Parallel spiegelt sich dies in der Abbildung 6.4 wieder. In der Zeit ab 10 Uhr morgens nehmen Wegezwecke mit anderen Handlungen zu. Der Weg zur Arbeitsstätte hingegen sinkt. Der zweite Anstieg innerhalb der Abbildung stellt die Wiederaufnahme eines Vollzeitbeschäftigten der Arbeit nach der Mittagspause dar. Werden beide Ausschläge verglichen, so ist erkennbar, dass diese ähnlich verlaufen. Der Hintergrund des ähnlichen Verlaufs ist in Kapitel 7 erläutert. Der zweite Anstieg der Anzahl an Startzeiten für die Handlung *Work* kann der Abbildung 6.4 nicht entnommen werden. Die Abbildung 6.6 zeigt die Anzahl arbeitender Agenten innerhalb eines Simulationsdurchlaufs in Abhängigkeit zur Uhrzeit. Die Anzahl steigt ab ca. 5 Uhr morgens stark an. Um die Mittagszeit fällt die Anzahl der arbeitenden Agenten leicht ab. Ab ca. 14 Uhr ist die Anzahl der arbeitenden Agenten stark sinkend. Der Vergleich der Abbildungen 6.5 und 6.6 zeigt, dass die Anzahl der Arbeitenden Agenten innerhalb der Simulation mit der Anzahl der Startzeiten für die Tätigkeit *Work* übereinstimmt. Ebenfalls ersichtlich ist der Einbruch um die Mittagszeit herum.

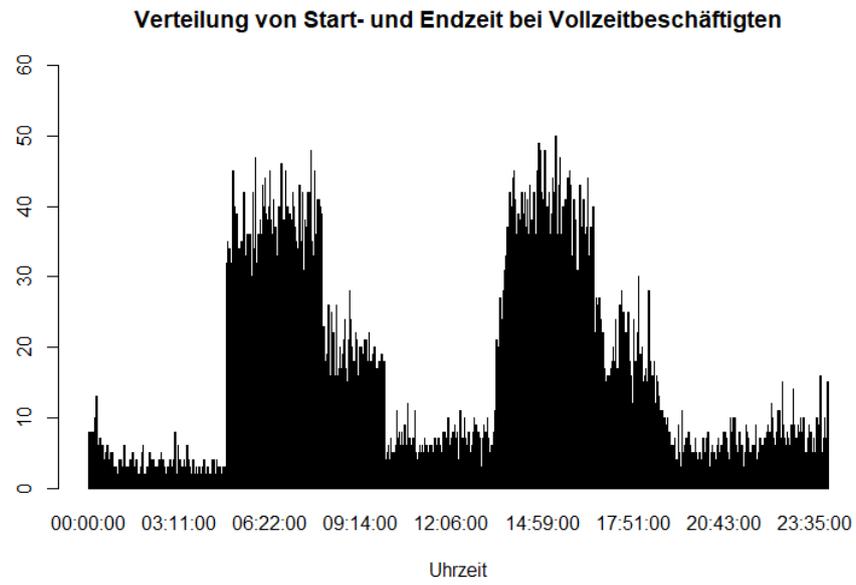


Abbildung 6.5: Start- und Endzeiten der Aktion *work* generiert durch die Klasse *Dayplan*.

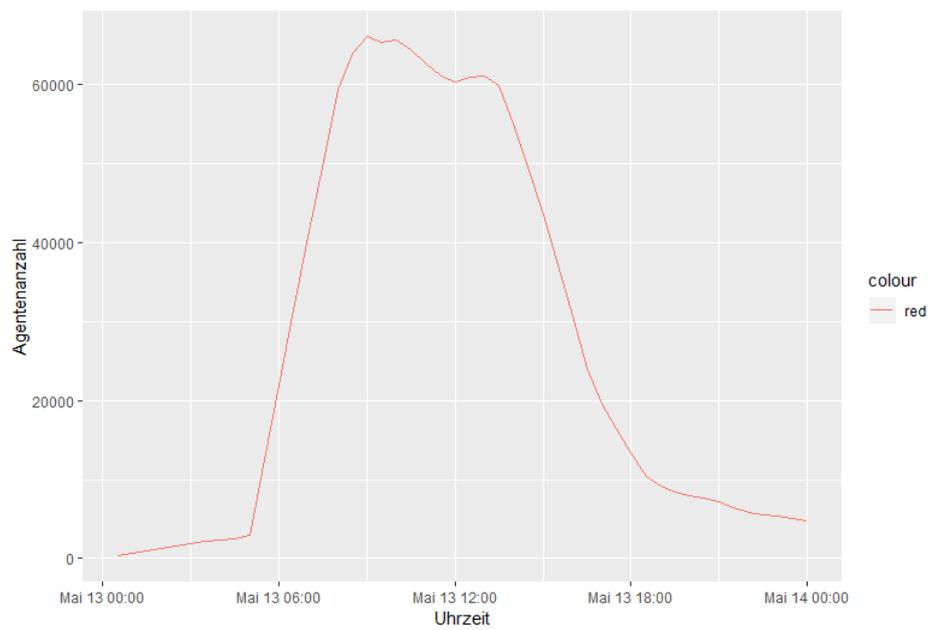
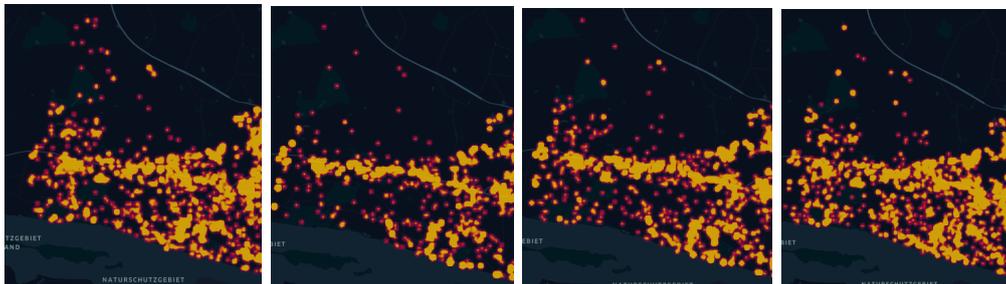


Abbildung 6.6: Anzahl arbeitender Agenten in Abhängigkeit zur Uhrzeit.

### 6.1.4 Gesamtverhalten der Agenten

Das Experiment zur Untersuchung des Gesamtverhaltens wurde mit 10000 Agenten durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 6.7 und 6.8 dargestellt. Das Experiment sollte zeigen, dass Ballungsräume sich über die Zeit aufgrund der Tagesdynamik verändern. Unter Anderem wurde erwartet, dass tagsüber im westlichen Teil Altonas innerhalb der Wohngebiete weniger Agenten anzutreffen sind. Die Ballungsräume des östlichen Teils hingegen verschöben sich kaum, da hier ein hoher Anteil an Mischgebäude vorliegt.

Die Abbildung 6.7 zeigt den westlichen Teil Altonas zu den Uhrzeiten 4 Uhr morgens (a), 12 Uhr mittags (b), 17 Uhr nachmittags (c) und 22 Uhr abends. Es ist hier eine deutliche Veränderung zwischen den Bildern a und b, sowie c und d zu erkennen. Agenten, welche Tagsüber arbeiten verlassen offensichtlich ihre Wohngebäude zwischen den Bildern a und b und kehren zwischen den Bildern c und d zurück. Der von rechts nach links kontinuierlich durch Ballungsräume gezeichnete Bereich innerhalb aller Bilder ist die Bundesstraße 431, welche quer durch den Stadtteil Altona verläuft. Wie bereits in der Beschreibung des Experiments erwähnt, grenzen viele Mischgebäude an die Straße an. Somit ist eine Veränderung der Ballungsräume über Tageszeiten hinweg schwer zu erkennen.



(a) 04:00 Uhr morgens (b) 12:00 Uhr mittags (c) 17:00 Uhr nachmittags (d) 22:00 Uhr abends

Abbildung 6.7: Verteilung der Agenten über einen Tag innerhalb eines überwiegend zum Wohnen genutzten Bereiches.

Die Abbildung 6.8 zeigt den westlichen Teil Altonas, welcher Richtung Stadtzentrum verläuft. Die hier gelegenen Gebäude sind zum größten Teil als Mischgebäude ausgeschrieben. Die Tagesdynamik der Agenten und die damit einhergehende Verschiebung der Ballungsräume ist hier nur schwer zu erkennen. Lediglich in einigen Bereichen der

Bilder lassen sich Unterschiede finden (vgl. rechte untere Ecke der Bilder a,b und c der Abbildung 6.8).

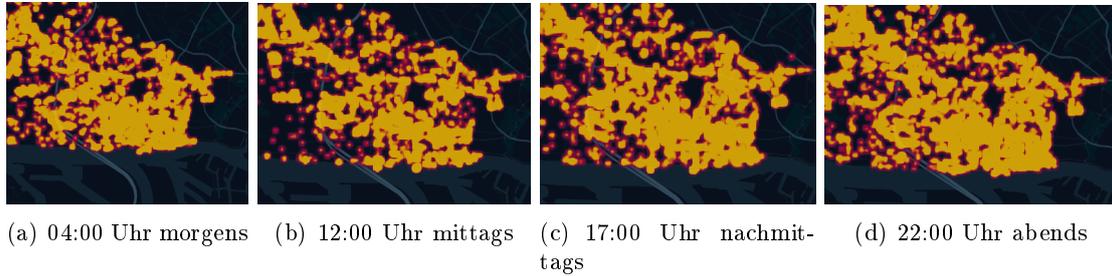


Abbildung 6.8: Verteilung der Agenten über einen Tag innerhalb eines Misch-Bereiches.

## 6.2 Ergebnisse Hypothese H2

Im Folgenden werden die Ergebnisse der drei Schritte des Experiments der Hypothese H2 präsentiert und beschrieben.

### 6.2.1 Schritte 1 und 2

Die Abbildung 6.9 zeigt die Ergebnisse des ersten und zweiten Schrittes (Initiale Berechnung einer Helferanzahl sowie Erhöhung der Helferanzahl). Im ersten Schritt wurde die errechnete Initialhelferanzahl von 154 Helfern simuliert. Die geforderten 95% der Einsätze konnte nicht bedient werden. Die Abdeckung lag hier unterhalb der 25% Marke. Es wurden nur 12 von 48 Einsätzen erfolgreich bedient. Die Helferanzahl wurde daher, wie im zweiten Schritt *Erhöhung der Helferanzahl* beschrieben, sukzessive erhöht und nach dem Prinzip der binären Suche eine Helferanzahl bestimmt, mit der in allen Simulationsläufen eine 95% Abdeckung erreicht werden konnte. Die Abbildung 6.9 zeigt den Verlauf der Ergebnisse der jeweilig simulierten Helferanzahl. Die Dicke der gezeichneten Punkte repräsentieren hierbei die Anzahl der Simulationsläufe, bei denen ein bestimmtes Ergebnis erzielt wurde. Beispielweise wurde im letzten Schritt für 6500 Helfer in drei Simulationsdurchläufen immer eine 100% Abdeckung erzielt. Bei der Simulation von 5500 Helfern hingegen wurde in einem Durchlauf 100%, in 2 Durchläufen ca. 98% (47 von 48 Einsätzen konnten bedient werden) und in einem Durchlauf nur 93.75% erzielt.

Die Abbildung 6.9 zeigt ebenfalls, dass der Wert, mit dem in jedem Simulationsdurchlauf eine Mindestabdeckung von 95% erzielt worden ist, zwischen der Helferanzahl 5500 und 5750 liegt. Die Abbildung 6.10 zeigt den ermittelten Wert von 5739 Helfern. Die Simu-

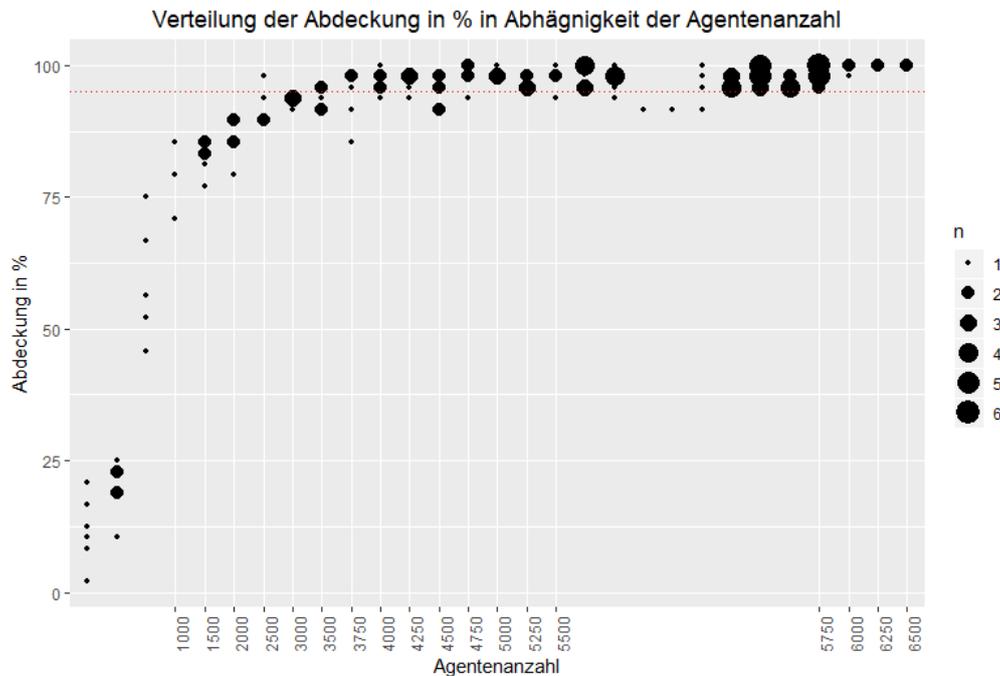


Abbildung 6.9: Empirische Ermittlung einer Helferanzahl für den Stadtteil Altona.

lationsläufe mit 5738 Helfern ergab einen Durchlauf unterhalb der rot eingezeichneten 95% Marke. Für die Helferanzahl 5739 wurden sieben Simulationen durchgeführt, wovon drei eine Abdeckung von 100% und vier eine Abdeckung von 95.8% (46 von 48 Einsätzen wurden bedient) erzielten. Für die nächsthöhere Agentenanzahl von 5740 konnten in 13 Simulationsdurchläufen ausschließlich Ergebnisse über 95% Abdeckung erreicht werden.

### 6.2.2 Schritt 3

Aufgrund des Erfolgs aus Schritt zwei wurde im letzten Schritt die Agentenanzahl auf 270263 Agenten angehoben. Hierbei wurden die aus Schritt zwei ermittelten 5739 Anzahl an Helfern deklariert. Somit wurden 270263 Agenten davon 5739 Helfer simuliert. In jedem der beiden durchgeführten Simulationen konnten 100% der Einsätze bedient werden.

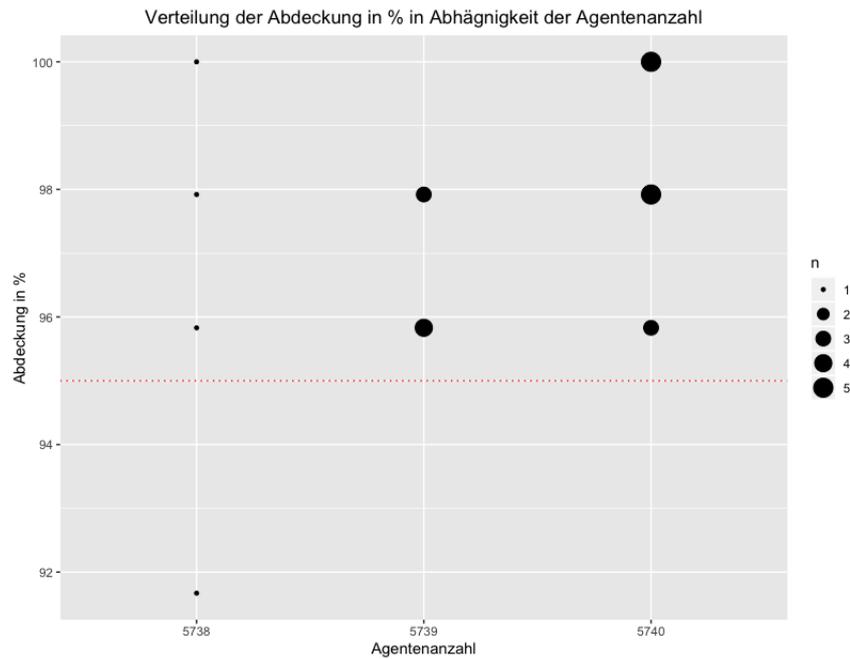


Abbildung 6.10: Auszug aus der Abbildung 6.9 im Bereich 5738 bis 5740 Agenten.

Die Annahme, dass die 95% Marke ebenfalls in einer Simulation mit mehr Agenten als der Mindestanzahl an Helfern erreicht werden kann, konnte somit bestätigt werden.

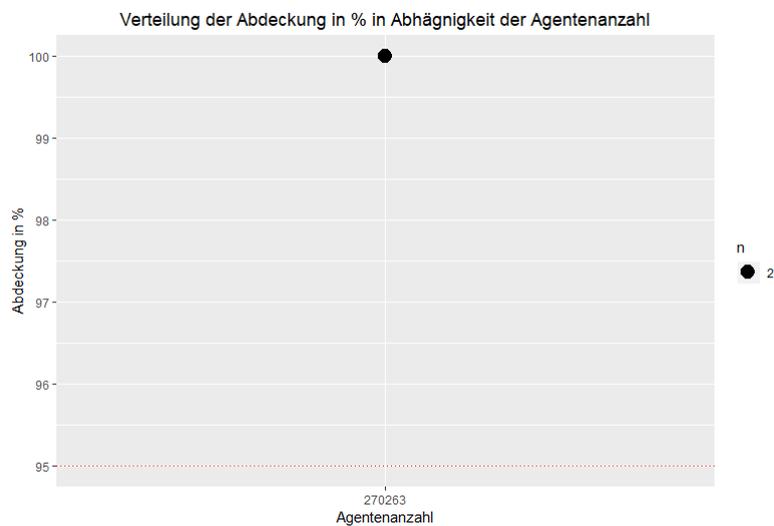


Abbildung 6.11: Ergebnis der zweimaligen Simulation mit 270263 Agenten (davon 5739 Helfer).

## 7 Diskussion

Im ersten Schritt dieses Kapitels wird eine kurze Zusammenfassung über die in der Analyse geforderten Aspekte sowie die im Design umgesetzte Erweiterung gegeben, um einen Überblick über das Entwickelte zu geben. Ziel der Entwicklung war die Erweiterung eines Fußgängermodells um Komponenten zur Realisierung des Smart Rescue Modells. Anschließend werden die Ergebnisse der in 5 beschriebenen Experimente anhand der in der Analyse geforderten Aspekte verglichen und diskutiert. Im Anschluss wird eine abschließende Zusammenfassung der in dieser Arbeit erzielten Ergebnisse/Erkenntnisse gegeben.

Im Designteil wurde das bestehende Modell aus den Arbeiten [29] bzw. [30] erläutert. Hier wurde dargelegt, dass mit dem Modell für den Stadtteil Bramfeld der Hansestadt Hamburg das Ziel der Implementierung einer Fußgängersimulation mit einer eigenen Tagesdynamik eines jeden Agenten geschaffen werden konnte. Agenten bewegten sich anhand geospatialer und statistisch erhobener Daten innerhalb des simulierten Bereiches. Es konnte für den Stadtteil Bramfeld ein Gesamtverhalten mit verschiedenen, sich verändernden Ballungsräumen generiert werden. Einzelne Agenten steuerten handlungsorientierte Ziele an und trugen so zum Gesamtverhalten des Stadtteils bei. In der Verifikation und Validierung der einzelnen Größen konnte gezeigt werden, dass alle Ergebnisse der in der Simulation verwendeten Größen durch entsprechende Quellen belegt werden konnten.

Die Erweiterung des Modells beinhaltet eine Alarmierungskomponente, sowie die Erweiterung des bestehenden Agenten um Funktionen des Smart Rescue. Die Anforderungen an einen Agenten im Kontext von Smart Rescue bestanden darin, dass dieser bei Alarmierung den Einsatzort innerhalb von drei Minuten erreichen kann. Dies wurde durch einen entsprechenden Alarmierungsradius von 400 Metern gelöst. Der Agent wurde für Smart Rescue um eine Alarmierungsfunktion (*AlertAgent()*) erweitert, die den Agent bei Alarmierung seine Geschwindigkeit auf seine spezifische Laufgeschwindigkeit erhöhen ließ. Des Weiteren wurden Agenten mit einem Flag versehen, welches darüber entscheidet, ob

ein Agent ein Helfer ist oder nicht. Somit wurde gewährleistet, dass der Agent in späteren Arbeiten auch als gewöhnlicher Fußgänger genutzt werden kann. Die Alarmierungskomponente wurde so implementiert, dass auf Basis zuvor erstellter Heatmaps, pro Stunde 2 Alarmierungen in der Nähe oder innerhalb von vorliegenden Ballungsräumen generiert werden. Die Alarmierungskomponente alarmiert pro Einsatz den zum Einsatzort am nächsten gelegenen Agenten im Umkreis von 400 Metern. Um den Smart Rescue Kontext lose gekoppelt in das bestehende System zu integrieren, wurden über Zugriffsmechanismen auf andere Layer, bestehende Informationen über bereits initialisierte Agenten zugänglich gemacht.

### 7.1 Hypothese H1

Zur Überprüfung der Hypothese H1 auf Eignung des Modells wurde das bestehende Modell für den Bereich Altona hinsichtlich Geschwindigkeit, Zielauswahl, Tagesrhythmus und Gesamtverhalten untersucht. Im ersten Teil wurde ein Experiment zur Untersuchung der Geh- sowie Lauf-Geschwindigkeit durchgeführt. Hierbei waren die Erwartungen, dass der Agent seine Geschwindigkeit innerhalb der Grenzen der Normalverteilung nach Weidmann [51] setzt. Zusätzlich wurden Verlangsamungen durch andere Agenten erwartet. Die Ergebnisse des Geschwindigkeitsexperiments ergaben, dass das Minimum und das Maximum der Normalverteilung überwiegend innerhalb der in 2.3 errechneten minimalen bzw. maximalen Geschwindigkeiten lagen. Lediglich das Maximum des Laufens beim weiblichen Geschlecht war um 0.064 m/s höher als das errechnete. Dieser Wert ist auf Rundungsfehler innerhalb der Simulation zurückzuführen. Die zusätzliche Verlangsamung konnte ebenfalls den Ergebnissen entnommen werden (siehe Abbildung 6.1). Hier war deutlich zu erkennen, dass in einigen Bereichen der Simulation eine sehr hohe Dichte an Agenten vorliegen muss. Die Geschwindigkeit wurde durch das LOS-Konzept (vgl. 2.3) auf einen Minimalwert gesetzt. Die Verlangsamung durch die Wahrnehmung der Agenten konnte auch im Stadtteil Altona gezeigt und somit bestätigt werden. Die Erwartungen an das Basismodell hinsichtlich der Geschwindigkeit konnten somit erfüllt werden.

Die handlungsorientierte Zielauswahl wurde in einem weiteren Experiment bestätigt. Der Agent suchte sich auf Basis von geospatialen Daten entsprechend seinen Handlungen Ziele aus, um sich dorthin zu bewegen. Aufgrund des gegebenen *Spatial Graph Environments* (vgl. 3.1) war es dem Agenten innerhalb der Simulation nicht möglich, den Zielpunkt

direkt anzusteuern, sondern den nächstgelegenen Knotenpunkt im Graphen zum Ziel. Die tatsächliche Strecke zwischen aktueller Position des Agenten und des Ziels in der Realität wird hierdurch verfälscht. Zur Lösung der Problematik muss ein Weg gefunden werden, dem Agenten die Möglichkeit zu geben, bis zu der Stelle auf einer Kante zu laufen, an der der Zielpunkt orthogonal zur Kante steht. Anschließend müsste der Weg zum Zielpunkt berechnet werden. Da der Agent den Graphen nicht verlassen kann, wäre ein Wechsel auf ein anderes Environment denkbar. Dies hätte aber einen Performanceverlust zur Folge und wurde in dieser Arbeit nicht umgesetzt.

Der Tagesrhythmus eines jeden Agenten konnte die durch das Experiment aufgestellten Erwartungen erfüllen. Agenten fingen, wie bereits auch in der Validierung in [30] gezeigt, zwischen 5 und 10 Uhr morgens an zu arbeiten. Zwischen 4 und 5 Uhr morgens entstand innerhalb der im Experiment gezeigten Tagespläne, ein enormer Sprung in der Anzahl an Startzeiten der Handlung *work*. Dies ist auf die in Abbildung 6.4 gezeigten Wegezwecke des *Erreichen des Arbeitsplatzes* zurückzuführen. Laut der Studie *Mobilität in Deutschland* erreichen 60% der Befragten innerhalb des Zeitfenster zwischen 5 Uhr und 10 Uhr ihren Arbeitsplatz. 3% der Befragten hingegen gaben ein Zeitfenster von 22 Uhr bis 5 Uhr morgens an, sodass dort zwischen den beiden Zeitfenstern ein Sprung von 57% stattfindet. Dennoch konnte zusätzlich zu der Validierung innerhalb der Arbeit von Löffler (siehe [30]) in weiteren Arbeiten gezeigt werden, dass der Tagesablauf dem Verkehr in Hamburg ähnelt. Verkehrszählungen aus dem Bereich Altona zeigten einen ähnlichen Verlauf wie der in Abbildung 6.5 dargestellte [52]. Die Arbeit von Weyl nutzt zur Generierung der Fahrzeugdynamik ebenfalls die Komponente zur Generierung von Tagesplänen [52]. Die Anzahl der arbeitenden Agenten in Abhängigkeit zur Uhrzeit innerhalb der Simulation konnte den Verlauf der zuvor generierten Tagespläne widerspiegeln. Hierbei ist jedoch anzumerken, dass der in Abbildung 6.6 gezeigte Verlauf bei null Agenten beginnt und bei ca. 5000 endet. Die im Anhang A.1 gezeigten Entscheidungsbäume dienen der Erstellung von Abfolgen für die jeweiligen Agenten. Da keiner der Entscheidungsbäume mit den Tätigkeit *Work* beginnt, ist der erste Tag der Simulation verfälscht. Resultierend aus der Tatsache, dass kein Agent als erste Tätigkeit *Work* durchführen kann, ist hier die Agentenanzahl nahezu null. In der Simulation mehrerer Tage hingegen, gleicht sich die Anzahl der Agenten der in der MiD erwähnten 3% (vgl. Abbildung 6.4 Zeitfenster 22 Uhr bis 5 Uhr) an.

Die Bewegungsdynamik und das daraus resultierende Gesamtverhalten konnte im letzten Experiment der Überprüfung der Hypothese H1 bestätigt werden. Der hier erwartete Verlauf der Verschiebungen von Ballungsräumen über die Zeit im Stadtteil Altona ist klar

zu erkennen. Der westliche Teil, der überwiegend durch Wohngebäude geprägt ist, wurde tagsüber verlassen und am Nachmittag bis Abend wieder aufgesucht. Für die genaue Bewegungsdynamik und die Ballungsräume liegen keine Daten zu Validierung vor. Anhand der Validierung der Tagespläne sowie der handlungsorientierten Zielsuche ist das entstehende Bewegungsverhalten verifizierbar. Auch die vermehrten, sich kaum ändernden Ballungsräume Richtung Zentrum der Stadt Hamburg konnten verifiziert werden. Das Bewegungsverhalten, welches durch Teil-Validierung der einbezogenen Komponenten entsteht, ist somit als annehmbar zu sehen. Das gewünschte Verhalten von Ballungsräumen konnte gezeigt werden.

Die Hypothese, dass das bereits entwickelte Modell für Smart Rescue generell genutzt und im Bereich Altona eingesetzt werden kann (H1), konnte somit bestätigt werden. Geschwindigkeiten konnten sowohl für das Gehen als auch für das Laufen validiert werden. Die entstehende Tagesdynamik innerhalb des Bereiches Altona konnte durch die Experimente verifiziert werden.

## 7.2 Hypothese H2

Mit der Hypothese H2 wurde die Behauptung aufgestellt, dass ein Schwellwert ermittelt werden kann, bei dem 95% der Einsätze in jeder der durchgeführten Simulationen erfolgreich bedient werden können. Ein Einsatz galt als bedient, wenn innerhalb von drei Minuten ein Agent am Einsatzort eingetroffen war. Durch die Experimente aus Kapitel 5.3 konnte die Hypothese bestätigt werden. Für den Bereich Altona wurde eine entsprechende Sättigung an Helfern bei der Agentenanzahl 5739 empirisch ermittelt. Der Verlauf der Ergebnisse des Experiments des zweiten Schrittes wies einen Kurvenverlauf auf, bei dem die Abdeckung in Prozent der bedienten Einsätze mit zunehmender Helferanzahl stark anstieg (vgl. Abbildung 6.9). Ab einer Helferanzahl von ca. 3000 Helfern flachte der Anstieg der Abdeckung ab und näherte sich der geforderten 95% Marke an. Dies bedeutet, dass ab einer Agentenanzahl von 3000 Helfern sich zunehmend eine Sättigung an Helfern einstellte. Bei 5739 Agenten war der Schwellwert für eine mindestens 95-prozentige Abdeckung bei jedem durchgeführten Simulationslauf gegeben. Im weiteren Verlauf der Kurve näherte sich die Abdeckung der 100% Marke. Es ist anzunehmen, dass dieser Verlauf bei Erhöhung der Helferanzahl bestehen bleibt. Je mehr Helfer innerhalb des Stadtteils Altonas eingesetzt werden, umso mehr verkürzen sich die Wege des nächsten Helfers zum Einsatzort. Somit wird angenommen, dass jeder Einsatz bzw.

ab einer Helferanzahl von 5739 alle Einsätze bis auf Einen, bedient werden könnte. Die Simulationen mit einer Agentenanzahl von 270263 Agenten wovon 5739 als Helfer deklariert waren, ergaben ebenfalls die Ergebnisse, die mit der alleinigen Simulation der Helferanzahl erzielt worden waren. Dies untermauert die Annahme, dass die Wege ab einem Schwellwert (hier 5739) so kurz sind, dass jeder bzw. 95% der Einsätze bedient werden können.

Durch die Experimente der Hypothese H2 lässt sich ebenfalls die in 1.1 aufgestellte Forschungsfrage beantworten. Die Frage nach der Helferanzahl für den Stadtteil Altona der Hansestadt Hamburg zur Abdeckung 95% der Einsätze durch Helfer, kann mit einer Anzahl von 5739 Helfern beantwortet werden. Dies entspricht ca. 2.1% der Bevölkerung von Altona. Bestehende Projekte, wie *Meine-Stadt-Rettet* (vgl. 2.1) weisen nach Berichten zur Folge ca. 6000 registrierte Helfer auf [15]. Die Bevölkerungszahl aller Teilnehmer des *Meine-Stadt-Rettet*-Projekts belaufen sich nach dem Statistischen Bundesamts auf  $310653 + 133560 + 131875 + 216712 = 792800$  Einwohner (teilnehmende Landkreise sind Pinneberg, Dithmarschen, Steinburg sowie die Hansestadt Lübeck). Dies entspricht ca. 0.7% der Bevölkerung der teilnehmenden Kreise bzw. Städte. Über einen Prozentsatz der erfolgreichen Reanimationen wurden keine Angaben gefunden. Unter dem Aspekt, dass die abzudeckende Fläche des Projekts *Meine-Stadt-Rettet* sehr viel größer ist, als die des Stadtteils Altonas, können keine Rückschlüsse auf einen prozentualen Anteil von Helfern im Verhältnis zur Bevölkerung des jeweilig betrachteten Bereichs gezogen werden. Des Weiteren können keine Rückschlüsse auf die erfolgreiche Abdeckung von Einsätzen gezogen werden.

### 7.3 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es, ein Fußgängermodell zur Untersuchung der Forschungsfrage “*Wie hoch muss die Helferanzahl für den Stadtteil Altona der Hansestadt Hamburg sein, damit das Modell Smart Rescue 95% der Einsätze (Notrufe) innerhalb von drei Minuten abdecken kann?*“ zu entwickeln. Hierfür wurde das Modell der Arbeiten [29] und [30] um die Funktionalitäten von Smart Rescue erweitert.

Smart Rescue beschäftigt sich mit der Einbindung Freiwilliger in die Rettungskette im Falle einer Reanimation. Die Freiwilligen werden als Ergänzung zu den Rettungskräften alarmiert. Die Alarmierung erfolgt über das eigene Smartphone. Der Helfer wird über eine vom Smartphone vorgegebene Route zum Einsatzort navigiert und kann dort mit

den lebensrettenden Sofortmaßnahmen beginnen. Das Ziel von Smart Rescue ist es, dem Patienten eine höhere Überlebenschance sowie eine Minimierung der Folgeschäden zu ermöglichen (siehe Kapitel 2.1).

In Kapitel 2 wurde neben der Vertiefung des Themas Smart Rescue, die Methode der Simulation sowie der in dieser Arbeit verwendete Ansatz der Mikrosimulation erläutert. Darüber hinaus wurde die Parametrisierung eines Fußgängermodells, die Verfeinerung mittels geospatialer Daten und die Generierung von Bewegungsverhalten innerhalb einer Fußgängersimulation an dem Modell der Arbeiten [29] und [30] erklärt.

Im Analyseteil dieser Arbeit (siehe Kapitel 3) wurde das Modell der Arbeiten [29] und [30] detailliert erläutert. Das Modell verfügte bereits über die grundlegenden Mechanismen zur Erstellung einer Bewegungsdynamik von Fußgängern. Hierzu zählten unter anderem die handlungsorientierte Zielsuche anhand von geospatialen Daten. Durch einen vom Agenten erstellten Tagesplan wurden für Aktionen aus dem Tagesplan Ziele auf Basis der eben erwähnten geospatialen Daten gesucht (vgl. 2.4 und 2.5). Das Ergebnis des Analyseteils beinhaltete die Erweiterung des bestehenden Modells um eine Alarmierungskomponente sowie die Erweiterung des Fußgängers um Funktionen zur Alarmierung und zur Bewältigung eines Einsatzes. Die Alarmierungskomponente sollte auf Basis von Ballungsräumen, welche durch das Bewegungsverhalten der Agenten erzeugt wurden, zwei Einsätze pro Stunde erzeugen und Agenten im Umkreis von 400 Metern alarmieren. Dies wurde durch die Verwendung von zuvor generierten Heatmaps realisiert (siehe 4.2).

Im Kapitel 4 wurde auf die bestehende Architektur sowie die Integration der neuen Komponenten eingegangen. Hierbei musste ein Weg gefunden werden, wie das bereits entwickelte Modell lose gekoppelt vom Smart Rescue Kontext existieren kann, dennoch für die Untersuchung der in dieser Arbeit gestellten Forschungsfrage und Hypothesen eingesetzt werden kann. Der Hintergrund der losen Kopplung besteht darin, dass das grundlegende Modell Teil einer multi-modalen Verkehrssimulation ist und daher im späteren Verlauf ohne Smart Rescue Kontext eingesetzt werden soll. Die Lösung für die lose Kopplung wurde in die Alarmierungskomponente verlagert. Diese hält eine Referenz auf den bestehenden Kontext der Simulation und kann somit die Information über bestehende Agenten erfragen, ohne dass das grundlegende Modell in seiner Grundfunktionalität angepasst werden muss (siehe 4.3). Implementierungsdetails der Alarmierungskomponente sowie die Erweiterung des Fußgängers um die entsprechenden in der Analyse eruierten Funktionen sind dem Kapitel 4.2 zu entnehmen.

Im Experimentalteil (Kapitel 5) wurden Experimente zur Untersuchung der in 1.1 aufgestellten Hypothesen beschrieben. Mit der Hypothese H1 wurde die Behauptung aufgestellt, dass das Modell der Arbeiten [29] und [30] für diese Arbeit die Grundfunktionalitäten bereitstellt und daher generell genutzt und im Speziellen im Stadtteil Altona eingesetzt werden kann. Das Basis-Modell wurde in den vorherigen Arbeiten nicht für den Stadtteil Altona getestet und validiert. Es wurden daher Experimente für die essentiellen Kriterien für das Smart Resuce Modell konzipiert und im Stadtteil Altona getestet. Hierzu zählen die Geschwindigkeit, die Zielauswahl, der Tagesrhythmus sowie das Gesamtverhalten der Agenten innerhalb des Stadtteils. Die Hypothese H2 nahm an, dass nach Erweiterung des Basismodells ein Schwellwert gefunden werden kann, mit dem 95% der Einsätze erfolgreich durch Helfer bedient werden können. Mit dieser Hypothese sollte die Annahme untersucht werden, dass ab einer bestimmten Helferanzahl die Dichte an Helfern so hoch ist, dass die Wege zu Einsätzen so kurz sind, um einen Einsatzort innerhalb von drei Minuten erreichen zu können.

In den Kapiteln 6 und 7 wurden die Ergebnisse des Experimentalteils präsentiert und diskutiert. Die Hypothese H1 konnte bestätigt werden. Die für Smart Rescue entscheidenden Kriterien konnten für den Stadtteil Altona bestätigt werden. So konnte in dem Geschwindigkeitsexperiment beim Gehen für Frauen eine Spanne von 0.12 m/s bis 1.48 m/s und bei Männern von 0.12 m/s bis 1.6 m/s erzeugt werden. Dies bestätigte die nach Weidmann [51] verwendete Normalfunktion zur Berechnung der Geschwindigkeit sowie die Verlangsamung der Agenten innerhalb ihrer eigenen Wahrnehmung. Für das Laufen konnte dies ebenfalls bestätigt werden. Hier ergaben sich Spannen von 0.4 m/s bis 4.6 m/s für Frauen und 0.45 m/s bis 4.75 m/s für Männer. Das Experiment zur Zielauswahl anhand der gerade ausgeführten Aktionen ergab, dass Agenten innerhalb der Stichproben Ziele richtig auswählten. Ebenfalls spiegelte der erzeugte Tagesrhythmus den der *Mobilität in Deutschland* Studie wieder. Das angenommene Gesamtverhalten der Agenten konnte ebenfalls durch die Simulation gezeigt werden. Die Agenten verließen aufgrund ihres selbst generierten Tagesplans tagsüber ihre Wohngebäude und kehrten abends wieder zurück. Dies führte zur Verschiebung von Ballungsräumen und einer Dynamik aller Agenten im Gesamtbild über die Zeit innerhalb eines Tages.

Die Ergebnisse der Hypothese H2 ergaben einen Kurvenverlauf, bei dem sich die erfolgreiche Abdeckung der Einsätze durch Helfer gegen eine Marke von 95% annäherte. Mit zunehmender Agentenanzahl wurde diese Marke in den Simulationsläufen überschritten und näherte sich den 100% an. Der ermittelte Schwellwert und die Beantwortung der in 1.1 gestellten Forschungsfrage beläuft sich auf 5739 Helfer. In Simulationsdurchläufen

mit der gesamten Bevölkerungsanzahl und der ermittelten Helferanzahl konnte zudem gezeigt werden, dass das erfolgreiche Abarbeiten von 95 Prozent der Einsätze immer noch funktionierte. Die Annahme, dass durch die hohe Helferanzahl die Wege zu den Einsätzen so kurz werden, dass für 95% der Einsätze ein Agent in unmittelbarer Nähe (unter drei Minuten am Einsatzort) ist, konnte durch dieses Experiment untermauert werden. Abschließend anzumerken ist, dass die durchgeführten Simulationen und die damit einhergehenden Ergebnisse auf der Annahme der Korrektheit von Geschwindigkeit und der örtlichen Verteilung innerhalb Altonas der Agenten beruhen. Aspekte wie Emotionen, andere Verkehrsteilnehmer etc. wurden hierbei außer Acht gelassen. Es wird dennoch angenommen, dass der empirisch ermittelte Wert realistisch ist und durch diesen eine höhere Überlebenschance für Patienten hervorgerufen werden könnte.

## 8 Ausblick

Der Abschnitt 7.3 hat die Ergebnisse sowie die Entwicklungen dieser Arbeit zusammengefasst. In diesem Abschnitt sollen mögliche Erweiterungen, sowie Aspekte zur Verfeinerung aufgezeigt werden.

Der entwickelte Fußgänger berechnet seine Geschwindigkeit auf Basis der Normalverteilung nach Weidmann [51]. Körperproportionen und damit einhergehende eventuelle Veränderungen auf die Geschwindigkeit wurden nicht berücksichtigt. Die Berechnung der Geschwindigkeit könnte durch ein Modell auf Basis von Körperproportionen und Attributen, wie beispielsweise einem Fitnesslevel, verfeinert werden. Ob die dadurch generierten Geschwindigkeiten von den durch die Normalverteilung generierten stark abweichen und der damit einhergehende Performanceverlust vereinbar ist, muss in zukünftigen Arbeiten erörtert werden. Des Weiteren wurden Emotionen sowie die eben erwähnte physische Verfassung in diesem Modell komplett außer Acht gelassen. Es wäre denkbar, in zukünftigen Arbeiten soziale, psychische und physische Aspekte mit in das Modell einfließen zu lassen. Nicht nur die Geschwindigkeit könnte hierdurch beeinflusst werden, sondern es könnte ein Modell zur Akzeptanz des Smart Rescue Modells und der damit einhergehenden Annahme bzw. Ablehnung von Einsätzen geschaffen werden. Ein weiteres Szenario für eine Weiterentwicklung wäre beispielsweise die Einbindung von sozialen Aspekten zur Überzeugung von Agenten innerhalb der Strecke zum Einsatzort. So könnte ein Agent versuchen, andere Agenten auf seinem Weg durch Interaktion zur Teilnahme an der Rettung zu überzeugen. So könnten Szenarien abgebildet werden, in denen mehrere Agenten an der Rettung beteiligt wären und Aufgaben, wie beispielsweise die Organisation eines AED (Automatisierte externe Defibrillator) durchführen. Ebenfalls denkbar wäre die Einbindung von weiteren Informations-Daten wie einer AED-Datenbank. Es könnte ein zweiter Agent direkt zum AED und anschließend zum Patienten alarmiert werden, um eine noch höhere Überlebenschance generieren zu können. Weitere Themen im Bereich eines Smart Rescue Modells wären beispielsweise die Auswirkung von Multi-Modalität. Fragestellungen, die auf einen Zeitgewinn durch die Nutzung von unterschiedlichen Fortbewegungsmitteln abzielen, wären denkbar.

# Literaturverzeichnis

- [1] AUTODESK: *Autodesk Homepage*. – URL [www.autodesk.de](http://www.autodesk.de). – Zugriffsdatum: 2019-05-21
- [2] BOWES, Pitney: *Pitney Bowes US | Digital Commerce, BI, Shipping & Mailing*. – URL <https://www.pitneybowes.com/us>. – Zugriffsdatum: 2019-05-21
- [3] BUNDESZENTRALE FÜR GESUNDHEITLICHE AUFKLÄRUNG (BZGA), MAARWEG 149-161, 50825 K.: Informationen zur Laienreanimation in Deutschland. URL [www.bzga.dehttps://www.bundesgesundheitsministerium.de/fileadmin/Dateien/4\\_Pressemitteilungen/2016/2016\\_3/160919\\_PM\\_NAWIB\\_Info-Blatt\\_Reanimation\\_Presse.pdf](http://www.bzga.dehttps://www.bundesgesundheitsministerium.de/fileadmin/Dateien/4_Pressemitteilungen/2016/2016_3/160919_PM_NAWIB_Info-Blatt_Reanimation_Presse.pdf), 2016. – Forschungsbericht
- [4] BÜRGERSCHAFT DER FREIEN UND HANSESTADT HAMBURG: Drucksache 21/11937 - Hilfsfristen und Zielerreichungsgrade der Feuerwehr (III). URL [http://www.buergerschaft-hh.de/parldok/dokument/61188/hilfsfristen\\_und\\_zielerreichungsgrade\\_der\\_feuerwehr\\_iii.pdf](http://www.buergerschaft-hh.de/parldok/dokument/61188/hilfsfristen_und_zielerreichungsgrade_der_feuerwehr_iii.pdf), 2018. – Forschungsbericht
- [5] CHRISTIAN, H ; DALSKI, Jan ; THIEL-CLEMEN, Thomas ; GRUNDMANN, Lukas: Modeling & Simulation as a Service with the Massive Multi-Agent System MARS. (2016), Nr. April
- [6] CLARKE, Keith C.: Cellular automata and agent-based models. In: *Handbook of Regional Science*. URL [https://doi.org/10.1007/978-3-642-36203-3\\_63-1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-36203-3_63-1), 2014, S. 1217. – ISBN 9783642234309
- [7] DALLMEYER, Jörg: *Simulation des Straßenverkehrs in der Großstadt*. Springer, 2014. – URL <http://link.springer.com/10.1007/978-3-658-05207-2>. – ISBN 978-3-658-05206-5

- [8] DE.STATISTA.COM: *Arbeitslosenquote in Hamburg 2018/2019 | Statistik*. – URL <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/762326/umfrage/arbeitslosenquote-in-hamburg/>. – Zugriffsdatum: 2019-02-11
- [9] DETJEN, Henrik ; HOFFMANN, Stefan ; RÖSNER, Leonie ; WINTER, Stephan ; GEISLER, Stefan ; KRÄMER, Nicole ; BUMILLER, Gerd: Integrating Volunteers into Rescue Processes. In: *International Journal of Information Systems for Crisis Response and Management* 7 (2016), Nr. 2, S. 1–18. – URL <http://services.igi-global.com/resolvedoi/resolve.aspx?doi=10.4018/IJISCRAM.2015040101>. – ISSN 1937-9390
- [10] DEUTSCHE TRAUMSTIFTUNG: *"Meine Stadt Rettet"- Notfallapp in Ulm | Deutsche Traumastiftung*. 2018. – URL <https://www.deutsche-traumastiftung.de/notfallapp/>. – Zugriffsdatum: 2019-05-05
- [11] DEUTSCHLAND.DE, Www.mobilitaet in: *Mobilität in Deutschland - Wissenschaftlicher Hintergrund*. – URL <http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/>. – Zugriffsdatum: 2019-01-27
- [12] DRK, Deutsches Rotes K.: *Einführung in die Rettungskette*. – URL <https://www.drk.de/hilfe-in-deutschland/erste-hilfe/erste-hilfe-online/rettungskette/rettungskette-einfuehrung/>
- [13] ECKERT, Thomas ; ECKERT, Svea: *Späte Rettung: Vorwürfe gegen Feuerwehr | NDR.de - Nachrichten - Hamburg*. – URL <https://www.ndr.de/nachrichten/hamburg/Spaete-Rettung-Vorwuerfe-gegen-Feuerwehr-,rettungswagen258.html>. – Zugriffsdatum: 2018-05-02
- [14] ECORIUM GMBH: *Ersthelfer-App - Ersthelfer werden über die Meine Stadt rettet App*. 2018. – URL <https://www.meine-stadt-rettet.de/>. – Zugriffsdatum: 2018-05-08
- [15] EINHAUS, Julian: *Schneller als der Rettungswagen | Verwaltung der Zukunft*. – URL <https://www.verwaltung-der-zukunft.org/transformation/schneller-als-der-rettungswagen>. – Zugriffsdatum: 2019-08-11
- [16] ELSNER, Jesko ; MEISEN, Philipp ; THELEN, Sebastian ; SCHILBERG, Daniel ; JESCHKE, Sabina: EMuRgency - A Basic Concept for an AI Driven Volunteer Notification System for Integrating Laypersons into Emergency Medical Services. In: *ResearchGate* 5 (2013), Nr. 3 & 4, S. 223–236. – ISSN 1942-2660

- [17] ESRI: *Home / Esri Deutschland*. – URL <https://www.esri.de/de-de/home>. – Zugriffsdatum: 2019-05-21
- [18] FEUERWEHR HAMBURG: Jahresbericht 2017. URL <https://www.hamburg.de/contentblob/11061206/89c7b5f1c76e9f83c3ec0b804679914b/data/jahresbericht-2017.pdf>, 2017. – Forschungsbericht
- [19] GEOSPATIAL, Hexagon: *Hexagon Geospatial*. 2018. – URL <https://www.hexagongeospatial.com/>. – Zugriffsdatum: 2019-05-21
- [20] HANSESTADT, Bürgerschaft H. der freien und: Drucksache 20/12807 - Arbeit mit den Einsatzprotokollen und Gewährleistung der Hilfsfristen. URL <https://www.buergerschaft-hh.de/ParlDok/dokument/46123/arbeit-mit-den-einsatzprotokollen-und-gewährleistung-der-hilfsfristen.pdf>, 2014. – Forschungsbericht
- [21] HAW MARS GROUP: *Projects – MARS Group*. 2019. – URL <https://mars-group.org/projects-using-mars/{#}>. – Zugriffsdatum: 2019-05-12
- [22] HELBING, Dirk ; MOLNAR, Peter: Social force model for pedestrian dynamics. In: *Physical review E* 51 (1995), Nr. 5, S. 4282. – ISBN 1063-651X
- [23] HÜNING, Christian ; ADEBAHR, Mitja ; THIEL-CLEMEN, Thomas ; DALSKI, Jan ; LENFERS, Ulfa ; GRUNDMANN, Lukas: Modeling & simulation as a service with the massive multi-agent system {MARS}. In: *Proceedings of the {Agent}-{Directed} {Simulation} {Symposium}*, Society for Computer Simulation International, 2016, S. 1
- [24] HÜNING, Christian ; WILMANS, Jason ; FEYERABEND, Nils ; THIEL-CLEMEN, Thomas: MARS - A next-gen multi-agent simulation framework. In: *Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften* (2014), Nr. 2008, S. 37–49. – URL <http://mars-group.org/wp-content/uploads/2014/10/MARS-A-next-gen-simulation-framework.pdf>{%}5Cnhttp://www.shaker.de/de/content/catalogue/index.asp?lang=de{%}&ID=8{%}&ISBN=978-3-8440-3032-7{%}&search=yes. ISBN 9783844030327
- [25] INFAS; DLR: Mobilität in Deutschland 2008 (MID 2018). (2010), S. 208
- [26] JEYANTHI, P. ; GOUTHAM, N. ; KAMALESHWARAN, C.: A smart phone-base pocket fall accident detection, positioning, and rescue system. In: *Research Journal of*

- Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences* 7 (2016), jan, Nr. 4, S. 3044–3050. – URL <http://ieeexplore.ieee.org/document/6825801/>. – ISSN 09758585
- [27] KALZ, Marco ; KLERKX, Joris ; CHICO, Parra ; ALBERTO, Gonzalo ; ELSNER, Jesko ; HABERSTROH, Max ; TERNIER, Stefaan ; SCHILBERG, Daniel ; JESCHKE, Sabina ; DUVAL, Erik ; SPECHT, Marcus: {EMuRgency}: addressing cardiac arrest with socio-technical innovation in a smart learning region. In: *Interaction Design and Architecture(s)* 2013 (2013), Nr. 17, S. 77–91. – ISSN 1826-9745
- [28] LENSSEN, Niklas ; BIERMANN, Henning ; SOPKA, Saša ; BECKERS, Stefan ; FELZEN, Marc ; ROSSAINT, Rolf ; KALZ, Marco ; HABERSTROH, Max ; KLERKX, Joris ; ELSNER, Jesko ; SKORNING, Max: EMuRgency -Neue Ansätze zur Reanimationsunterstützung und für Reanimationstraining in der Euregio Maas-Rhein. In: *Symposium ICT in der Notfallmedizin* (2012). – URL <http://dspace.ou.nl/bitstream/1820/4406/1/12notit04.pdf>
- [29] LÖFFLER, Andreas: Entwicklung eines Fußgängermodells im Kontext Smart Rescue mit dem MARS-Framework / Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg. 2018. – Forschungsbericht. – 35 S
- [30] LÖFFLER, Andreas: Verfeinerung und Parametrisierung eines Fußgängermodells durch Anreicherung mit geospatischen und demographischen Daten / Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg. 2019. – Forschungsbericht. – 67 S
- [31] MARTINEZ-GIL, Francisco ; LOZANO, Miguel ; GARCÍA-FERNÁNDEZ, Ignacio ; FERNÁNDEZ, Fernando: Modeling, Evaluation, and Scale on Artificial Pedestrians. In: *ACM Computing Surveys* 50 (2017), sep, Nr. 5, S. 1–35. – URL <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=3145473.3117808>. – ISSN 03600300
- [32] MARTINEZ-GIL, Francisco ; LOZANO, Miguel ; GARCÍA-FERNÁNDEZ, Ignacio ; FERNÁNDEZ, Fernando: Modeling, evaluation, and scale on artificial pedestrians: A literature review. In: *ACM Computing Surveys* 50 (2017), sep, Nr. 5, S. 1–35. – URL <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=3145473.3117808>. – ISSN 15577341
- [33] MOKRYN, Osnat ; KARMI, Dror ; ELKAYAM, Akiva ; TELLER, Tomer: Help Me: Opportunistic smart rescue application and system. In: *2012 the 11th Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop, Med-Hoc-Net 2012*, IEEE, jun 2012, S. 98–

105. – URL <http://ieeexplore.ieee.org/document/6257129/>. – ISBN 9781467320399
- [34] MÜNCHOW, Stefan: Einfluss von Leadership und sozialen Gruppen in agentenbasierten Entfluchtungssimulationen. (2013)
- [35] PLANTA, von M.: Mobile Ausbildung mit Lebensrettungsprogramm HELP lanciert. Ein Herzstillstand - und sofort kommt ein HELP-Team. (2007). – URL <https://saez.ch/de/resource/jf/journal/file/view/article/saez/de/saez.2007.13081/2007-45-1065.pdf/>
- [36] PTVGROUP: Wie erreichen Menschen ihre Ziele? URL <http://vision-traffic.ptvgroup.com/fileadmin/files{ }ptvvision/Downloads{ }N/0{ }General/2{ }Products/3{ }PTV{ }Viswalk/DE{ }PTV{ }Viswalk{ }Broschuere.pdf>. – Forschungsbericht
- [37] REIMANN, Michael: *Simulationsmodelle im Verkehr*. Karlsruhe, Universität Karlsruhe, Dissertation, 2007. – 25 S. – URL <https://www.ipd.kit.edu/damast/seminar/FAS2007/pdfs/FAS2007{ }Reimann{ }Simulationsmodelle{ }Ausarbeitung.pdf>
- [38] RETTER.TV: *Hamburg - Kampf gegen Personalmangel: Feuerwehr Hamburg will 200 neue Beamte einstellen - Die Feuerwehr auf retter.tv - retter.tv*. – URL <https://www.retter.tv/organisationen/feuerwehr{ }ereig,-Kampf-gegen-Personalmangel-Feuerwehr-Hamburg-will-200-neue-Beamte-einstellen-{ }ereignis,40312.html>. – Zugriffsdatum: 2018-05-02
- [39] RINGH, Mattias ; FREDMAN, David ; NORDBERG, Per ; STARK, Tomas ; HOLLENBERG, Jacob: Mobile phone technology identifies and recruits trained citizens to perform {CPR} on out-of-hospital cardiac arrest victims prior to ambulance arrival. In: *ResearchGate* 82 (2011), aug, Nr. 12, S. 1514–1518. – ISSN 1873-1570
- [40] SCHREINER, Clara: International Case Studies of Smart Cities: Rio de Janeiro, Brazil. (2016), Nr. June. – URL <https://publications.iadb.org/handle/11319/7727>
- [41] SCIENCE, Regional ; STUDIES, Mobility: DOBRE, PRZYDATNE, ale nie ma nic nowego? 2015 rok Smart cities Ranking of European medium-sized cities. (2007),

- Nr. October. – URL [www.srf.tuwien.ac.at/http://www.smart-cities.eu/download/smart{ }cities{ }final{ }report.pdf](http://www.srf.tuwien.ac.at/http://www.smart-cities.eu/download/smart{ }cities{ }final{ }report.pdf). – ISBN 5880126633
- [42] SICAD, AED: *Home - AED-SICAD GmbH*. – URL <https://www.aed-sicad.de/index.php/home.html>. – Zugriffsdatum: 2019-05-21
- [43] STATISTIKAMT NORD, [Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein]: *Statistisches Jahrbuch*. (2018), S. 260. – ISBN 9783824608393
- [44] STATISTISCHES BUNDESAMT: *Staat & Gesellschaft - Bevölkerungsstand - Bevölkerung auf Grundlage des Zensus 2011 - Statistisches Bundesamt (Destatis)*. 2015. – URL <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/Tabellen/liste-zensus-geschlecht-staatsangehoerigkeit.html>. – Zugriffsdatum: 2018-03-07
- [45] STRAFGESETZBUCH: *§323c Unterlassene Hilfeleistung*. – URL <https://dejure.org/gesetze/StGB/323c.html>
- [46] STROOP, Autoren R. ; STRICKMANN, B ; HORSTKOETTER, H ; KUHMBUSCH, T ; HARTWEG, H-r ; KERNER, T ; NOTARZTGRUPPE KREIS GÜTERSLOH, Leitende ; BARBARA-KLINIK, St ; LEITER RETTUNGSDIENST, Ärztlicher ; GÜTERSLOH, Kreis ; GÜTERSLOH, Kreisverwaltung ; MED DIPL-BIOCHEM RALF STROOP, Korrespondenzadresse: Smartphone-basierte First-Responder-Alarmierung "Mobile Retter "\* Implementierung eines qualifizierten Ersthelfer-Systems Smartphone-Based First-Responder Alerting "Mobile Rescuers Implementation of a Qualified First-Aid-System. In: *Notarzt* 31 (2015), S. 239–245. – URL <http://dx.doi.org/>. – ISSN 0177-2309
- [47] STROOP, R. ; STRICKMANN, B. ; HORSTKOETTER, H. ; KUHMBUSCH, T. ; HARTWEG, H. R. ; KERNER, T.: Smartphone-basierte First-Responder-Alarmierung "Mobile Retter": Implementierung eines qualifizierten Ersthelfer-Systems. In: *Notarzt* 31 (2015), oct, Nr. 5, S. 239–245. – URL <http://www.thieme-connect.de/DOI/DOI?10.1055/s-0035-1552700>. – ISSN 14388693
- [48] SUHL, Leena ; MELLOULI, Taïeb: *Optimierungssysteme*. URL <http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-38937-5>, 2013. – Online-Ressource (XVIII, 306 S. 15 Abb, online res S. – ISBN 978-3-642-38936-8

- [49] TEEGE, Gunnar: Geodaten im Internet. In: *Informatik-Spektrum* 24 (2002), aug, Nr. 4, S. 193–206. – URL <http://link.springer.com/10.1007/s002870100172>. – ISSN 0170-6012
- [50] THILO WEICHERT: Der Personenbezug von Geodaten. In: *Datenschutz und Datensicherheit - DuD* 31 (2007), Nr. 1-2, S. 17–23
- [51] WEIDMANN, Ulrich: Transporttechnik der Fussgänger, Transporttechnische Eigenschaften des Fussgängerverkehrs (Literaturoberprüfung). In: *IVT, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau* (1993), Nr. 90, S. 110. – ISSN 0039-2189
- [52] WEYL, Julius: *Developing a generic multi-agent car model to simulate road traffic with*, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Masterarbeit, 2019. – 97 S
- [53] WEYL, Julius ; GLAKE, Daniel ; CLEMEN, Thomas: Agent-based Traffic Simulation at City Scale with MARS. In: *Proceedings of the 2018 Spring Simulation Multiconference* (2018), S. 9
- [54] WINTER, Stephan: Bridging Vector and Raster Representation in GIS Representations in Geoinformation Systems. . – URL <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.34.8058{%&}rep=rep1{%&}type=pdf>
- [55] WWW.MOBILE-RETTEN.DE: *Mobile Retter*
- [56] WWW.PTVGROUP.COM: *Maßgeschneiderte Mobilität dank Spitzentechnologie | PTV Group*. – URL <https://www.ptvgroup.com/de/loesungen/>. – Zugriffsdatum: 2019-05-12
- [57] WWW.PULSEPOINT.ORG: *PulsePoint Foundation*. 2015. – URL <https://www.pulsepoint.org/foundation/http://www.pulsepoint.org/>. – Zugriffsdatum: 2019-05-04

# A Anhang

## A.1 Entscheidungsbäume Tagesablauf

Die Entscheidungsbäume nach denen die verschiedenen Tagesabläufe generiert werden können, sind für dieses Dokument zu groß. Sie sind daher auf dem beigelegten Datenträger (siehe A.3) wieder zu finden. Folgende Dateien bilden die Entscheidungsbäume der unterschiedlichen Agenten:

**E1** EntscheidungsbaumFullWorkerWorkingDay.png

**E2** EntscheidungsbaumHalfWorkerWorkingDay.png

**E3** EntscheidungsbaumNoWorkerWorkingDay.png

**E4** EntscheidungsbaumFullWorkerWeekendDay.png

**E5** EntscheidungsbaumHalfWorkerWeekendDay.png

## A.2 Diagramme Tagespläne

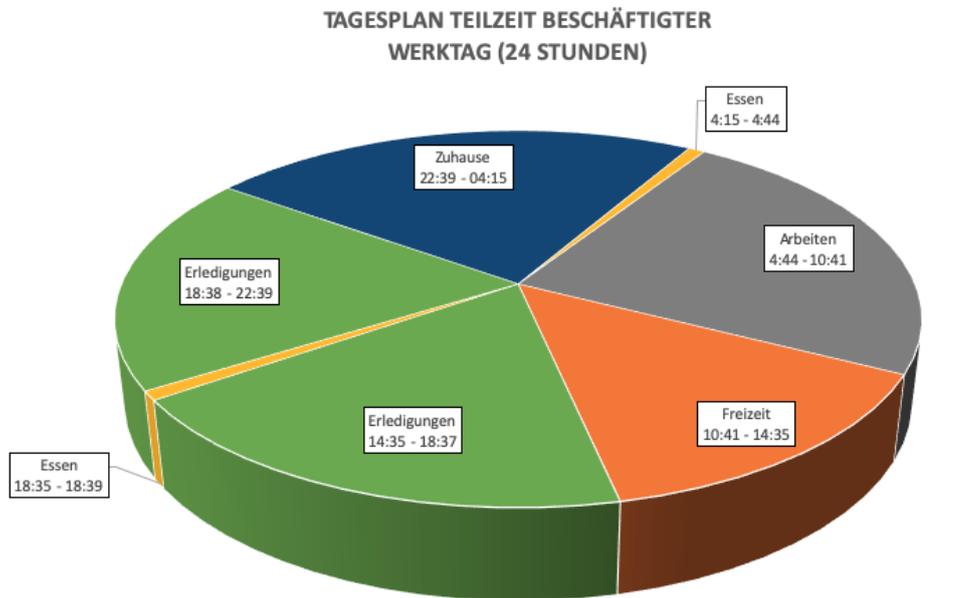


Abbildung A.1: Tagesablauf eines Teilzeit-Erwerbstätigen.

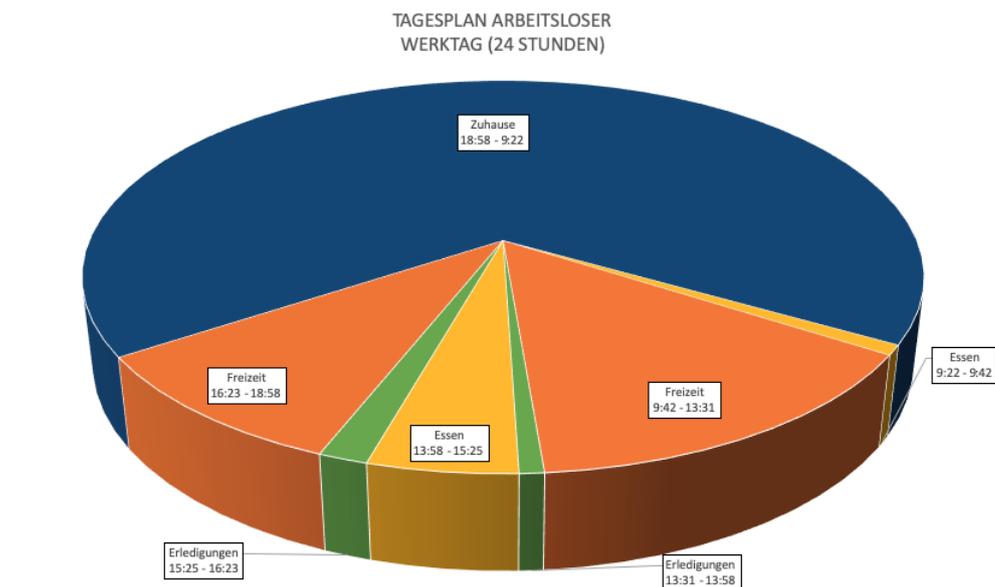


Abbildung A.2: Tagesablauf eines Nicht-Erwerbstätigen.

### A.3 Datenträger

Der Datenträger ist dieser Arbeit beigelegt. Auf ihm befinden sich:

- Thesis.pdf
  - Die hier geschriebene Masterarbeit als PDF.
- Entscheidungsbäume
  - Der Ordner enthält die in A.1 gelisteten Entscheidungsbäume als PNGs.
- R-Skripte
  - Der Ordner enthält die zur Visualisierung entwickelten R-Skripte.
- QGIS-Layerstil
  - Der Ordner enthält den zur Erstellung verwendeten Layer-Farbstil für das Werkzeug Quantum GIS.

## Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

Gemäß der Allgemeinen Prüfungs- und Studienordnung ist zusammen mit der Abschlussarbeit eine schriftliche Erklärung abzugeben, in der der Studierende bestätigt, dass die Abschlussarbeit „– bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit [(§ 18 Abs. 1 APSO-TI-BM bzw. § 21 Abs. 1 APSO-INGI)] – ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

*Quelle: § 16 Abs. 5 APSO-TI-BM bzw. § 15 Abs. 6 APSO-INGI*

## Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit

Hiermit versichere ich,

Name: \_\_\_\_\_

Vorname: \_\_\_\_\_

dass ich die vorliegende Masterarbeit – bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema:

### **Smart Rescue im urbanen Raum: Ein agentenbasiertes Modell mit MARS zur Bestimmung der Helferanzahl innerhalb Hamburgs**

ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

\_\_\_\_\_  
Ort                      Datum                      Unterschrift im Original