Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Ausarbeitung Anwendungen 1 WiSe 2011/12

Christian Twelkemeier

Modellierung und Behandlung von Ereignissen in Fußgängersimulationen

Fakultät Technik und Informatik
Studiendepartment Informatik

Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Computer Science

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung **1**
- 1.1 Ziel der Arbeit . . . 1
- 1.2 Aufbau der Arbeit . . . 2

2 Verwandte Arbeiten **2**
- 2.1 Ereignisse . . . 2
  - 2.1.1 Ereignisdiskrete Systeme . . . 2
  - 2.1.2 Umgebungsereignisse . . . 3
  - 2.1.3 Ereignisse in Paniksituationen . . . 3
  - 2.1.4 Zusammenfassung . . . 4
- 2.2 Wirkungsbereich von Ereignissen . . . 4
  - 2.2.1 Kenntnisbereiche . . . 5
  - 2.2.2 Ausbreitung . . . 5
- 2.3 Bestehende Simulationen . . . 5
  - 2.3.1 MASON . . . 6
  - 2.3.2 WALK . . . 6

3 Analyse **6**
- 3.1 Arten von Ereignissen . . . 7
- 3.2 Szenarioanalyse . . . 8
- 3.3 Modellierung mit bestehenden Ansätzen . . . 9
  - 3.3.1 MASON . . . 9
  - 3.3.2 WALK . . . 9

4 Zusammenfassung **10**
- 4.1 Ausblick . . . 10

1 Einführung

Am 24.07.2010 kam es bei der Loveparade in Duisburg zu einer Massenpanik mit mehreren Toten und Verletzten (Vorläufiger Abschlussbericht der Loveparade (2010)). Dies ist nur ein Fall von vielen. Im Jahr 2003 kam es in Chicago in einer Diskothek zu einer Massenflucht, als durch den Einsatz von Pfefferspray auf der Tanzfläche sich das Gerücht eines Giftgasanschlags verbreitete (vgl. Schneider (2011), Kap. 3.2.5). Hierbei kamen 21 Menschen zu Tode und 57 wurden verletzt (CNN (2003) sowie Huffington Post (2011)). Um bei Massenveranstaltungen das Risiko für weitere solcher Situationen zu verringern, können im Vorfeld der Veranstaltung Simulationen von dieser durchgeführt werden. Dadurch sollen solche Probleme bereits in der Planung erkannt und gelöst werden.

Um eine solche Simulation zu ermöglichen, existiert an der HAW Hamburg das Projekt WALK. Dieses befasst sich mit der Entwicklung einer Fußgängersimulation. Um eine höhere Genauigkeit der Simulation zu erreichen, setzt dieses Projekt auch bei einer großen Anzahl von Fußgängern auf einen mikroskopischen, agentenbasierten Ansatz.

Einen Überblick über die Geschehnisse auf der Loveparade am 24.07.2010 geben der Zwischenbericht der Stadt Duisburg (Zwischenbericht Loveparade (2010)) sowie der vorläufige Abschlussbericht des Polizeipräsidiums Essen (Vorläufiger Abschlussbericht der Loveparade (2010)). Einen Überblick über das Szenario aus Chicago geben Schneider (2011), Kap. 3.2.5, Huffington Post (2011) sowie CNN (2003).

1.1 Ziel der Arbeit

In der folgenden Arbeit soll ein Überblick über die Modellierung und Behandlung von Ereignissen im Bereich der Fußgängersimulationen gegeben werden. Hierfür soll eine Übersicht über die Arten der Ereignisse und Auslöser gegeben werden, die in Fußgängersimulationen auftreten können. Anhand dieser Arten soll eine Diskussion der Modellierbarkeit mit Hilfe der vorhandenen Ansätze durchgeführt werden.

Das Ziel dieser Diskussion ist ein tiefergehendes Verständnis der offenen Punkte in dem Bereich der Ereignisse in Füßgängersimulationen zu vermitteln und durch diese Erkenntnisse

die Modellierung und dadurch die Simulationsergebnisse der WALK Simulation effektiver und genauer zu gestalten.

1.2 Aufbau der Arbeit

In der folgenden Arbeit wird im Kapitel 2 auf den Begriff des Ereignisses eingegangen. Dieser wird in Abschnitt 2.1 aus verschiedenen Bereichen definiert. Im Anschluss daran wird eine Definition des Begriffes Ereignis eingeführt, die im Rahmen dieser Arbeit verwendet wird. Danach werden zwei Ansätze für die Ausbreitung von Ereignissen vorgestellt sowie bestehende Simulationen beschrieben.

In Kapitel 3 wird dann eine Darstellung der Arten von Ereignissen in Fußgängersimulationen beschrieben. Anhand dieser wird dann eine Analyse der Szenarien durchgeführt, wo eine Situation beispielhaft in die vorher genannten Arten eingeteilt wird sowie diskutiert wird, welche Auswirkungen ein solches Ereignis haben kann. Im Anschluss daran wird eine Beschreibung der Modellierung von einigen Ereignissen in den bestehenden Ansätzen beschrieben.

Zum Schluss wird in Kapitel 4 ein kurzer Überblick über die Arbeit und das weitere Vorgehen gegeben.

2 Verwandte Arbeiten

2.1 Ereignisse

Da der Begriff des Ereignisses in vielen Bereichen verwendet wird, soll im Folgenden ein Überblick über die verwendeten Semantiken des Begriffes Ereignis gegeben werden. Des Weiteren soll definiert werden, was im Folgenden als ein Ereignis bezeichnet wird.

2.1.1 Ereignisdiskrete Systeme

In den ereignisdiskreten Systemen können die Ereignisse, wie in Lunze (2006) (S. 37), als ein sofortiger Zustandsübergang von einem Zustand in einen weiteren Zustand modelliert werden. Die Ereignisse aus Abbildung 2.1 können dann, wie ebenfalls in Lunze (2006) (S. 37)

beschrieben, als Sequenz (e_o, e_1, e_o, e_1) dargestellt werden, wenn nur die Reihenfolge der Ereignisse und nicht der genaue Zeitpunkt relevant ist.

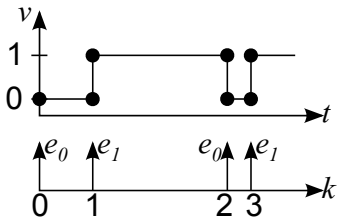

Abbildung 2.1: Ereignisse (angelehnt an Lunze (2006), S. 37)

In diesen Systemen können zwei verschiedene Arten von Ereignissen unterschieden werden: Die internen und die externen Ereignisse. Ein internes Ereignis tritt in dem System auf und ändert den Zustand von diesem, während ein externes Ereignis von außen auf das System wirkt, bzw. in das System geleitet wird (vgl. Lunze (2006), S. 38).

Bei einer Simulation könnte ein externes Ereignis bspw. eine Benutzereingabe sein. Ein internes Ereignis dagegen könnte eine Interaktion zwischen zwei Agenten in der Simulation sein.

2.1.2 Umgebungsereignisse

Die Ereignisse in der Umgebung wurden in Steel und Wenkstern (2010) wie folgt beschrieben:

> „Environmental events are properties of the simulated environment that may affect the state of the environment and the behavior of virtual agents situated in the environment.“ (Steel und Wenkstern (2010), S. 17:1)

Dies bedeutet, dass diese Ereignisse beim Eintreffen den Zustand der Umgebung ändern können. Des Weiteren können diese das Verhalten der Agenten, die sich in der Nähe, bzw. in der Umgebung befinden ändern (Steel und Wenkstern (2010), S. 17:1).

Dies könnte beispielsweise ein Agent sein, der sich bei einem Feuer von diesem entfernt oder aber versucht dieses zu löschen.

2.1.3 Ereignisse in Paniksituationen

Im Bereich der Panik wird in Schneider (2011) ein kritisches Ereignis definiert:

> „Unter einem kritischen Ereignis soll ein Ereignis verstanden werden, das sich in der gemeinsamen Umwelt anwesender Individuen ereignet und das Potenzial

> besitzt, unmittelbar starke Emotionen bei Individuen auszulösen, die direkte Kenntnis von diesem Ereignis besitzen, und diese in einen Panikzustand [...] zu versetzen." (Schneider (2011), S. 52)

Nach dieser Definition müssen verschiedene Kriterien für ein solches Ereignis erfüllt sein. Das Ereignis muss in einer gemeinsamen Umwelt der Individuen statt finden und es muss starke Emotionen bei diesen auslösen können, wenn die Individuen davon eine direkte Kenntnis erlangen (Schneider (2011), S. 52).

Bezogen auf das Szenario aus Chicago könnte dies bspw. das Gerücht des Giftgasanschlags, unter der Voraussetzung der Wahrnehmung der Wirkung des Pfeffersprays, sein.

2.1.4 Zusammenfassung

Wie gerade beschrieben, existieren verschiedene Definitionen des Begriffes des Ereignisses. Aus diesem Grund soll in der folgenden Arbeit ein Ereignis wie folgt definiert sein:

Ein Ereignis ist eine Begebenheit, die von außen in die Simulation eingebracht oder aus der Simulation stammt, in der Simulation statt findet und Agenten sowie die Umwelt beeinflussen kann.

Die Ereignisse, die von außen in die Simulation eingebracht werden, werden hier, analog zu der Definition aus Unterabschnitt 2.1.1, als externe Ereignisse und die, die aus der Simulation stammen, als interne Ereignisse bezeichnet (vgl. Lunze (2006), S. 38).

Der zweite Aspekt der Definition, dass ein Ereignis die Umwelt oder den Agenten beeinflussen kann, ist an Steel und Wenkstern (2010) aus Unterabschnitt 2.1.2 angelehnt.

Der Aspekt, des kritischen Ereignisses, dass der Agent in einen Panikzustand versetzt wird, wurde hier nicht mit einbezogen, da in dieser Arbeit auch Ereignisse betrachtet werden sollen, die nicht direkt zu einer Paniksituation führen.

2.2 Wirkungsbereich von Ereignissen

Um den Aspekt des Wirkungsbereiches von Ereignissen zu simulieren werden in Schneider (2011), (Kap. 5.1.3.4) sowie Steel und Wenkstern (2010) Ansätze beschrieben.

2.2.1 Kenntnisbereiche

In dem von Schneider (2011) in Kapitel 5.1.3.4 beschriebenen Ansatz, wird ein raumdiskreter, zeitkontinuierlicher Ansatz verwendet. Hierbei wird, bei einem auftretendem Ereignis, ein Kenntnisbereich eingeführt. Dieser Kenntnisbereich ist nicht konstant, sondern ändert sich über die Zeit. Bei den Kenntnisbereichen wird zwischen der Kenntnis über die Wirkung und der Ursache unterschieden.

Durch diese Unterscheidung könnten, wie in Schneider (2011), (Kap. 3.2.5.2 und Kap. 5.3.1.4) beschrieben, beim Szenario von Chicago die Ausbreitung der Wirkung des Pfeffersprays sowie die Ausbreitung des Wissens über die Ursache modelliert und simuliert werden.

2.2.2 Ausbreitung

In dem Ansatz von Steel und Wenkstern (2010) wird die Ausbreitung des Ereignisses über sogenannte Zellencontroller realisiert. Hierbei wird die Umwelt in diskrete Bereiche aufgeteilt. Jedem Bereich wird ein Controller zugewiesen, der die Ausbreitung der Ereignisse berechnet. Wenn ein Ereignis ein Nachbarfeld erreicht, wird der entsprechende Controller von diesem Feld darüber benachrichtigt. Dieser kann dann die Ausbreitung für sein Feld lokal weiter berechnen. Problematisch ist an diesem Ansatz, wie auch in Steel und Wenkstern (2010), (S. 2) erwähnt, dass die Zellencontroller ähnlich wie Agenten, als eine Entität modelliert sind. Da die Anzahl der Controller von der Größe der Umwelt, sowie der Diskretisierung von dieser abhängig ist, kann dies unter Umständen zu Leistungsproblemen führen.

Mit diesem Ansatz könnte ebenfalls die Ausbreitung der Wirkung des Pfeffersprays modelliert werden. Wobei es zusätzlich möglich wäre, angelehnt an das Beispiel aus Steel und Wenkstern (2010) (S. 5), die Ausbreitung von Pfefferspray auf einer freien Fläche mit Wind zu modellieren, ohne dass vorher bekannt sein muss, in welche Richtung die Ausbreitung des Pfeffersprays statt findet.

2.3 Bestehende Simulationen

Im Folgenden werden einige bestehende Simulationen beschrieben. Neben diesen existieren weitere Simulationen wie z.B. Netlogo (Webseite NetLogo (2012)). Eine Übersicht über weitere Simulationen bietet Zhou u. a. (2010) und eine Übersicht über Simulationsarten bietet Schneider (2011), (Kap. 4).

2.3.1 MASON

Bei MASON handelt es sich um eine Bibliothek für agentenbasierte Simulationen, die nach Luke u. a. (2005), (S. 1) mehrere Millionen Agenten simulieren kann. Da bei Fußgängersimulationen unter Umständen viele Agenten simuliert werden müssen, soll im folgenden MASON bezüglich Ereignissen betrachtet werden.

Eine Übersicht über MASON bieten Luke u. a. (2005), Luke (2011), Railsback u. a. (2006) sowie die Webseite von MASON (siehe Webseite MASON (2012)).

Für die räumliche Darstellung der Simulation in MASON können sowohl raumdiskrete, als auch raumkontinuierliche Simulationen realisiert werden (Luke (2011), S. 105 ff., S. 125 ff.). Der Ablauf der Simulation wird über einen Schedule durchgeführt. In diesem werden die Aktionen, die zu bestimmten Zeitpunkten ausgeführt werden sollen, eingeplant und entsprechend abgearbeitet. Die Aktionen, die in diesen eingeplant werden, sind in sogenannte Steppable-Objekte gekapselt. Mit diesen Objekten kann dann das Verhalten der Agenten abgebildet werden (Luke (2011), S. 88 f.).

Die Zeitpunkte, für die die Steppable-Objekte eingeplant werden, werden durch die realen Zahlen repräsentiert. Dabei ist es möglich, ein Steppable-Objekt einmalig oder wiederkehrend einzuplanen (Luke (2011), S. 90).

2.3.2 WALK

Die Simulation im WALK-Projekt verwendet einen, wie am Anfang der Arbeit beschrieben, mikroskopischen, agentenbasierten Ansatz. Hierbei wird unter anderem ein Schwerpunkt auf die Verteilung der Agenten auf mehrere Systeme gelegt. Dies wird durch Herrn Christian Thiel bearbeitet (siehe Thiel (2011)). Die Simulation besteht aus drei Komponenten. Dies sind die GUI, Agentenplattform sowie das GIS[1]. Einen Überblick über das System sowie eine genauere Darstellung des GIS sind unter Thiel (2011) sowie Baldowski (2011) zu finden.

[1] Geoinformationssystem

3 Analyse

In dem folgenden Kapitel werden verschiedene Arten von Ereignissen dargestellt. Anhand dieser Arten wird dann beschrieben, wie eine Modellierung mit den vorhandenen Ansätzen durchgeführt werden kann.

3.1 Arten von Ereignissen

In der Simulation können verschiedene Arten von Ereignissen auftreten. Abbildung 3.1 gibt eine Übersicht darüber, wie die Ereignisse eingeteilt werden können.

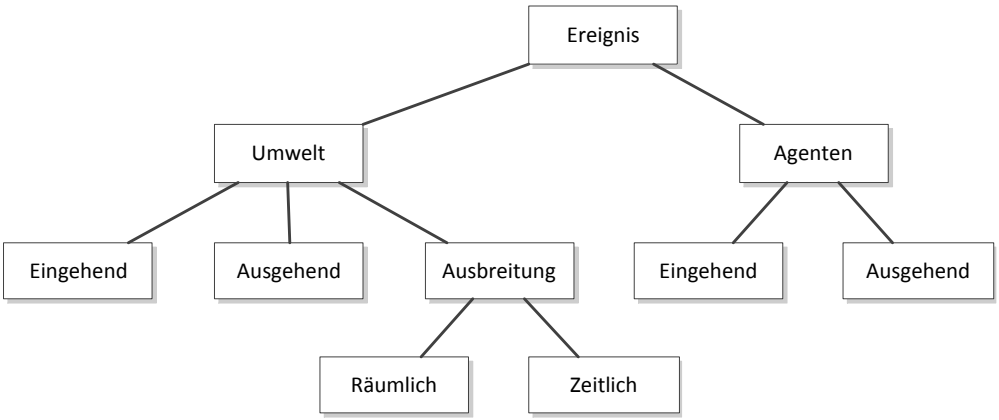

Abbildung 3.1: Arten von Ereignissen

Ein Ereignis kann hierbei auf die Umwelt oder den Agenten wirken. Bei beidem ist es jeweils möglich, dass das Ereignis ausgehen oder eingehend ist. Ein ausgehendes Ereignis bedeutet bezogen auf den Agenten, dass das Ereignis von diesem ausgelöst wurde. Des Weiteren ist es möglich, dass ein Ereignis eine Ausbreitung aufweist. Diese kann jeweils räumlich und zeitlich sein.

Beispielsweise wäre das Schubsen eines Agenten, bei dem Schubsenden ein ausgehendes Ereignis und bei dem Geschubsten ein eingehendes Ereignis. Dagegen wäre das Anzünden einer Gardine durch einen Agenten bei diesem Agenten ein ausgehendes und für die Gardine ein eingehendes Ereignis. Dieses Ereignis hat, durch das Feuer, eine räumliche und zeitliche Ausbreitung.

Zusätzlich können die Auslöser für die Ereignisse in verschiedene Gruppen eingeteilt werden. Diese sind in Abbildung 3.2 dargestellt.

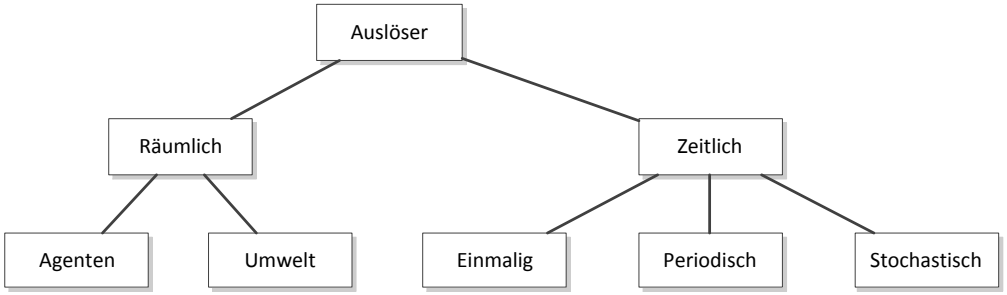

Abbildung 3.2: Arten von Auslösern

Der Auslöser von einem Ereignis kann räumlich und zeitlich unterschieden werden. Zeitlich ist hier wiederum eine Unterscheidung bezogen auf die Häufigkeit des Auslösens vorhanden. Ein Ereignis kann von einem Auslöser einmalig, periodisch oder stochastisch ausgelöst werden. Ein schubsender Agent wäre entsprechend ein räumlicher Auslöser, der zeitlich einmalig oder stochastisch ist.

3.2 Szenarioanalyse

Anhand der gerade beschriebenen Einteilung von Ereignissen wird im Folgenden eine Analyse von einem Ereignis aus dem anfangs erwähnten Szenario von Chicago durchgeführt.

In dem Szenario aus Chicago existiert das Ereignis des Sprühens von Pfefferspray (Schneider (2011), Kap. 3.2.5). Dieses Ereignis wird von einem Agenten ausgelöst und ist daher von diesem ein ausgehendes Ereignis. Es wirkt dann auf die Umwelt und ist dadurch für diese ein eingehendes Ereignis, welches sich sowohl räumlich, als auch zeitlich ausbreitet. Hierbei existieren zwei verschiedene Ebenen des Ereignisses. Die eine Ebene ist das Wissen über die Ursache des Ereignisses, was sich verbreitet, die andere Ebene ist die Wirkung des Ereignisses,

die sich verbreitet (Schneider (2011), Kap. 3.2.5.2 und Kap. 5.3.1.4). Dadurch, dass das Ereignis sich räumlich ausbreitet, wird es auch für Agenten, die sich im Radius der Ausbreitung befinden, zu einem eingehenden Ereignis. Dies ist jedoch unter Umständen zeitlich verzögert, was durch die Geschwindigkeit der räumlichen Ausbreitung, die eine zeitliche Ausbreitung des Ereignisses zur Folge hat, bedingt ist.

Das Ereignis des Sprühens von Pfefferspray bedingt weitere Ereignisse. Dies ist bei einem Agenten die Wahrnehmung der Wirkung des Pfeffersprays. Des Weiteren kann durch dieses Brennen in den Augen, sowie der Wahrnehmung der anderen Agenten das Ereignis der Aussprache eines Giftgasanschlages folgen. Diese folgenden Ereignisse können entsprechend wieder in die, am Anfang des Kapitels beschriebenen, Arten eingeteilt werden. Dies bedeutet, dass die bedingten Ereignisse wiederum eingehende oder ausgehende Ereignisse sind.

3.3 Modellierung mit bestehenden Ansätzen

Im folgenden Abschnitt wird überprüft, wie die Ereignisse mit Hilfe der bestehenden Ansätze aus Kapitel 2 modelliert werden können.

3.3.1 MASON

Für das Szenario aus Chicago könnte in MASON ein raumdiskreter Ansatz mit einem Steppable-Objekt pro Agent verwendet werden. Das Ereignis des Sprühens von Pfefferspray kann mit dem Ansatz von Steel und Wenkstern (2010) aus Abschnitt 2.2 modelliert werden. Hierbei könnte, wie in Steel und Wenkstern (2010) beschrieben, ein Steppable-Objekt pro Zellencontroller verwendet werden. Es ist jedoch offen, wie ein Ereignis umgesetzt wird, was, abhängig von der aktuellen Situation, verschiedene Aktionen ausführt.

3.3.2 WALK

Um die Ereignisse in WALK zu modellieren, kann für die Ereignisse in der Umwelt mit einer zeitlichen und räumlichen Ausbreitung ebenfalls der Ansatz von Steel und Wenkstern (2010) aus Abschnitt 2.2 für die Ausbreitungssimulation verwendet werden. Das Auslösen eines Ereignisses könnte direkt über den Zellencontroller simuliert werden, der auch für die Ursprungsposition des Ereignisses verantwortlich ist.

Bei einem Ereignis, welches von der Umwelt ausgelöst wird und die Umwelt ohne Ausbreitung verändert, könnte dies ebenfalls über einen Zellencontroller realisiert werden.

Für Ereignisse, die von einem Agenten ausgelöst werden und einen Agenten beeinflussen, kann eine direkte Kommunikation zwischen den Agenten verwendet werden. Hierbei wird

jedoch die Annahme aus Thiel (2011) (S.10f) getroffen, dass Agenten die sich in der Umwelt nahe sind, von der Agentenplattform des WALK-Systems eine effektive Kommunikation untereinander besitzen.

4 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde ein Überblick über den Begriff des Ereignisses gegeben sowie bestehende Ansätze zur Modellierung von Ereignissen in Fußgängersimulationen vorgestellt. Darauf aufbauend wurde gezeigt, dass die Ereignisse nach verschiedenen Kategorien eingeteilt werden können. Des Weiteren hat sich gezeigt, dass Ereignisse weitere Ereignisse auslösen können, was zu Kaskadierungseffekten führt.

In der Modellierung der Ereignisse in der bestehenden Simulation, bzw. dem WALK-System hat sich gezeigt, dass eine Ausbreitung eines Ereignisses über die bestehenden Ansätze, wie die aus Steel und Wenkstern (2010) möglich sein sollte. Es ist jedoch offen, wie sich bedingende Ereignisse oder kaskadierende Ereignisse modelliert werden können.

4.1 Ausblick

Im weiteren Verlauf sollte eine Verbesserung der WALK-Simulation anhand eines Szenarios durchgeführt werden. Hierfür könnte beispielsweise das Szenario der Loveparade verwendet werden. Um die Verbesserung aus Abschnitt 1.1 zu erreichen, sollten zunächst die Ereignisse, die in dem Szenario aufgetreten sind, entsprechend der in Abschnitt 3.1 genannten Arten untersucht werden. Das Ziel ist eine Aufstellung aller Ereignisse mit den Auslösern und den Folgen zu erarbeiten, die in den Szenario vorhanden sind.

Anhand dieser Ereignisliste muss dann entsprechend, unter Berücksichtigung der vorhandenen Arbeiten, ein Konzept zur Modellierung der Ereignisse in dem WALK-System erarbeitet und anschließend überprüft werden. Für die Überprüfung bietet sich eine prototypische Implementierung des Konzeptes in das WALK-System an.

Nach der prototypischen Implementierung sollte dann überprüft werden, ob das Konzept für das Szenario sowie weitere Szenarien validiert werden kann. Hierbei sollte unter anderem überprüft werden, ob das Konzept auch auf andere Szenarien übertragbar ist und nicht nur für das anfangs erwähnt Szenario der Loveparade angewendet werden kann.

Literaturverzeichnis

[Baldowski 2011] Baldowski, Mariusz: Entwicklung eines 3D-Geoinformationssystem für Gefahrensituationen im In- und Outdoorbereich im Rahmen von WALK. (2011). – URL http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/projekte/master10-11-aw1/baldowski/bericht.pdf

[Luke 2011] Luke, Sean: *Multiagent Simulation And the MASON Library.* 2011. – URL http://cs.gmu.edu/~eclab/projects/mason/manual.pdf. – Online Version 1.0, Zugriff: 27.02.2012

[Luke u. a. 2005] Luke, Sean ; Cioffi-Revilla, Claudio ; Panait, Liviu ; Sullivan, Keith ; Balan, Gabriel: MASON: A Multi-Agent Simulation Environment. In: *Simulation: Transactions of the society for Modeling and Simulation International* 82(7) (2005), S. 517–527. – URL http://cs.gmu.edu/~sean/papers/simulation.pdf

[Lunze 2006] Lunze, Jan: *Ereignisdiskrete Systeme - Modellierung und Analyse dynamischer Systeme mit Automaten, Markovketten und Petrinetzen.* Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2006. – ISBN 3-486-58071-X

[Railsback u. a. 2006] Railsback, Steven F. ; Lytinen, Steven L. ; Jackson, Stephen K.: Agent-based Simulation Platforms: Review and Development Recommendations. In: *SIMULATION* 82 (2006), Nr. 9, S. 609–623. – URL http://sim.sagepub.com/content/82/9/609.abstract

[Schneider 2011] Schneider, Bernhard: *Die Simulation menschlichen Panikverhaltens.* Bd. 1. Auflage. Vieweg+Teubner Verlag, 2011

[Steel und Wenkstern 2010] Steel, T. ; Wenkstern, R. Z.: Simulated event propagation in distributed, open environments. In: *Proceedings of the 2010 Spring Simulation Multiconference.* New York, NY, USA : ACM, 2010 (SpringSim '10), S. 17:1–17:8. – URL http://doi.acm.org/10.1145/1878537.1878555. – ISBN 978-1-4503-0069-8

[Thiel 2011] Thiel, Christian: Ein verteiltes Multiagentensystem zur Simulation von Fußgängerströmen. (2011). – URL http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/projekte/master10-11-aw1/thiel/bericht.pdf

[Vorläufiger Abschlussbericht der Loveparade 2010] *Vorläufiger Abschlussbericht.* Oktober 2010. – URL http://www.mik.nrw.de/fileadmin/user_upload/Redakteure/Dokumente/Themen_und_Aufgaben/Schutz_und_Sicherheit/110601_vorlaeufiger-abschlussbericht.pdf. – Zugriff: 17.02.2012

[Zhou u. a. 2010] Zhou, Suiping ; Chen, Dan ; Cai, Wentong ; Luo, Linbo ; Low, Malcolm Yoke H. ; Tian, Feng ; Tay, Victor Su-Han ; Ong, Darren Wee S. ; Hamilton, Benjamin D.: Crowd modeling and simulation technologies. In: *ACM Trans. Model. Comput. Simul.* 20 (2010), November, S. 20:1–20:35. – URL http://doi.acm.org/10.1145/1842722.1842725. – ISSN 1049-3301

[Zwischenbericht Loveparade 2010] *Zwischenbericht zur Loveparade.* 2010. – URL http://www.duisburg.de/news/medien-12/Zwischenbericht_Loveparade.pdf. – Zugriff: 21.11.2011

Onlinequellen

[CNN 2003] CNN: *Chicago overwhelmed by nightclub deaths.* 2003. – URL http://articles.cnn.com/2003-02-18/us/btsc.flock_1_epitome-restaurant-popular-club-pepper-spray?_s=PM:US. – Zugriff: 30.11.2011

[Huffington Post 2011] Post, Huffington: *E2 Nightclub Stampede: With Their Convictions Reversed, Owners Accuse City Of Scapegoating Them.* 2011. – URL http://www.huffingtonpost.com/2011/11/18/e2-nightclub-stampede-wit_n_1102038.html. – Zugriff: 30.11.2011

[Webseite MASON 2012] *Webseite MASON.* 2012. – URL http://cs.gmu.edu/~eclab/projects/mason/. – Zugriff: 26.02.2012

[Webseite NetLogo 2012] *Webseite NetLogo.* 2012. – URL http://ccl.northwestern.edu/netlogo/. – Zugriff: 26.02.2012