



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Seminarausarbeitung Master Semester 3 WiSe 2012/2013

Christian Twelkemeier

Adaptive Ereignisbehandlung in MAS Simulationen

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Aufbau der Arbeit	1
2	Ziel der Arbeit	1
2.1	Detailskalen	2
2.2	Interest Management	4
2.3	Vorarbeiten	4
3	Vorgehen	5
3.1	Ergebnisse	6
3.2	Validierung	7
3.3	Chancen und Risiken	9
4	Zusammenfassung	10

1 Einführung

Bei Veranstaltungen kommt es immer wieder zu Unfällen mit Toten und Verletzten (Loveparade Duisburg 2010 (Isringhaus und Schwerdtfeger (2011)), Discobrand in Brasilien 2013 (Zeit Online (2013))).

Um aus solchen Situationen zu lernen und um zukünftig solche Unfälle möglichst zu vermeiden, können, wie auch in Schneider (2011) (S. 3f.) beschrieben, mit Hilfe von Multi-Agenten Simulationen, solche Situationen simuliert und dadurch besser untersucht werden. Hierbei liegt jedoch der Fokus meist nicht auf der Behandlung von Ereignissen bei der Simulation von solchen Szenarien. Da jedoch auch diese ggf. einen entscheidenden Einfluss auf den Verlauf einer Situation besitzen können, wird in dieser Arbeit beschrieben, wie im Rahmen der Masterarbeit die Behandlung von Ereignissen in Multi-Agent Simulationen untersucht werden soll.

1.1 Aufbau der Arbeit

Die folgende Arbeit beschreibt im Abschnitt 2 das Ziel der Masterarbeit. Hierfür werden in den jeweiligen Unterabschnitten die Grundlagen für die Detailskalen und das Interest Management vorgestellt.

Das genaue Vorgehen der Durchführung und Validierung wird dann im Abschnitt 3 zusammen mit den Ergebnissen einer Simulation sowie den Risiken und Chancen beschrieben.

Abschließend wird im Abschnitt 4 eine Zusammenfassung gegeben.

2 Ziel der Arbeit

Durch die Simulation von Ereignissen, wie bspw. das Stürzen einer Person, werden in der MAS zusätzliche Ressourcen, wie z.B. CPU-Zeit oder Arbeitsspeicher, benötigt (Twelkemeier (2012b)). Die Annahme ist, dass die Menge der benötigten Ressourcen dabei in Korrelation mit der Qualität der Simulationsergebnisse steht. Das bedeutet, dass verschiedene Detailskalen existieren, welche unterschiedlich viele Ressourcen für die Simulation benötigen. Diese Detailskalen sind unterschiedliche Abstraktionsebenen der jeweiligen Effekte. Eine genauere Beschreibung der Detailskalen ist im Unterabschnitt 2.1 zu finden.

Wenn für die unterschiedlichen Detailskalen unterschiedliche Verfahren existieren, um diese zu simulieren, können sich dadurch unterschiedliche Ressourcenbedürfnisse für diese ergeben. Die Hypothese ist, dass durch eine adaptive, bzw. der Situation angepassten Anwendung der

Detailskalen der Ressourcenbedarf verringert werden kann, während die Simulationsergebnisse qualitativ annähernd gleich bleiben.

Das Ziel der Masterarbeit ist diese Hypothese zu untersuchen und dadurch zu stützen oder zu widerlegen.

2.1 Detailskalen

Eine Detailskala ist in dieser Arbeit eine Angabe, wie genau ein bestimmter Effekt simuliert wird. Synonym dazu wird in dieser Arbeit dies auch als Abstraktionsebene bezeichnet. Eine niedrige Detailskala bedeutet, dass Effekte mit einem hohen Abstraktionsgrad simuliert werden. Bei einer hohen Detailskala können auch Eigenschaften der Effekte, die bei einer niedrigeren Detailskala nicht modelliert oder simuliert werden, beachtet werden. Hierbei existiert die Möglichkeit sowohl die temporale als auch spatiale Genauigkeit zu verändern.

Beispielsweise können für die Kollisionserkennung mindestens zwei unterschiedliche Detailskalen genannt werden: Eine niedrige, welche nur eine Kollisionserkennung am Zielort durchführt (Abbildung 1(a)). Bei dieser können die Agenten auf der zurückgelegten Strecke nicht kollidieren, sondern bewegen sich durcheinander hindurch. Bei der hohen Detailskala wird dann berechnet, ob und wo eine Kollision der Agenten auf dem Weg statt findet (Abbildung 1(b)).

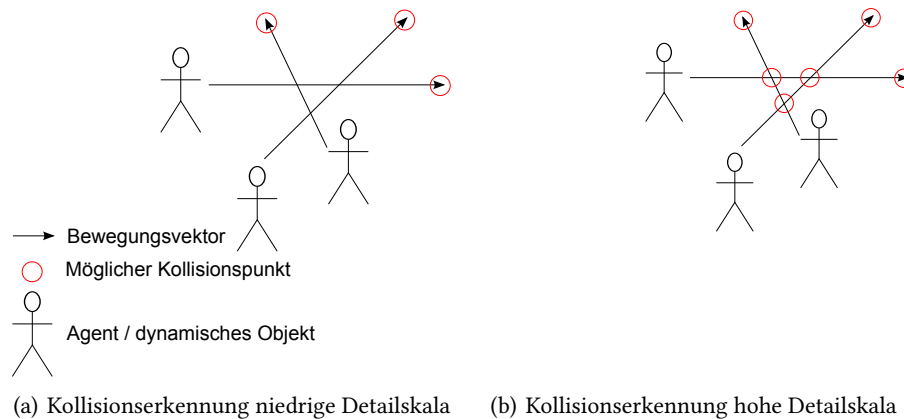


Abbildung 1: Detailskalen der Kollisionserkennung

Eine temporale Detailskala ist bspw. die Diskretisierung der Simulationszeit. Hierfür kann ein time-step-driven oder ein event-driven Ansatz verwendet werden, wobei in dieser Arbeit die gleiche Semantik dieser Begriffe wie in Guo und Tay (2008), verwendet wird. Bei dem time-step-driven Ansatz wird die Simulationszeit jeweils um ein festes Δt weiter gesetzt.

Das andere Extrem ist ein event-driven Ansatz, bei welchem jeweils die Simulationszeit auf den Zeitpunkt des nächsten Ereignisses gesetzt wird. Dadurch existieren hierbei variable Zeitabstände zwischen den Ereignissen.

Beim time-step-driven Ansatz (Abbildung 2(a)) können die Ereignisse nur zu den Zeitpunkten $n * \Delta t : n \in \mathbb{N}^0$ ausgelöst werden. Deswegen müssen hierbei müssen alle Ereignisse, die sich im Intervall $[n * \Delta t, (n + 1) * \Delta t)$ befinden, entweder bis zum Zeitpunkt $(n + 1) * \Delta t$ hinaus gezögert (Guo und Tay (2008)) oder zum Zeitpunkt $n * \Delta t$ vorgezogen werden. Da bei beiden Möglichkeiten einige Ereignisse hiervon ggf. andere Ereignisse in diesem Intervall beeinflussen oder verhindern können und bei der Ausführung der Ereignisse höchstens die Kausalität, jedoch nicht die Zeit zwischen diesen beachtet werden kann, kann es zu Ungenauigkeiten kommen. Die Zeit, welche zwischen den Ereignissen vergeht, wird bei diesem Ansatz nicht modelliert, sodass die Ereignisse nahezu simultan simuliert werden.

Das Problem, dass durch die nahezu simultane Ausführung der Ereignisse Ungenauigkeiten auftreten, besteht bei dem event-driven Ansatz (Abbildung 2(b)) nicht, da die Simulationszeit jeweils auf den Zeitpunkt des nächsten Ereignisses gesetzt wird. Hierbei muss der Zustand von beeinflussten Ereignissen interpoliert werden, sodass die Zeit nahezu kontinuierlich simuliert werden kann. Die Vorteile liegen in einer höheren Genauigkeit bei der Beeinflussung von Ereignissen und der Ersparnis von zusätzlichen Simulationsschritten in Zeitspannen, in denen keine Ereignisse passieren. Der Nachteil ist jedoch, dass die Ereignisse interpolierbar sein müssen und bei vielen Ereignissen hierdurch ggf. ein höherer Aufwand entsteht, als wenn die Ereignisse gebündelt ausgeführt werden.

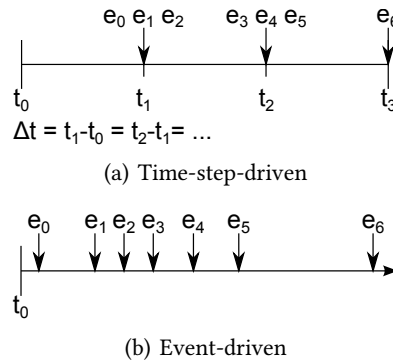


Abbildung 2: Ansätze für die temporale Detailskala

Für die Simulation von Entfluchtungsszenarien ist ggf. auch ein hybrider Ansatz denkbar: Alle Bewegungsereignisse der Agenten werden jeweils zum Zeitpunkt $n * \Delta t$ oder $(n + 1) * \Delta t$ ausgeführt, wodurch ggf. weniger Interpolationen nötig sind. Falls es bspw. zu einer Kollision

oder einer ungeplanten Veränderung der Bewegung kommt, kann der Agent erneut eine Aktion ausführen. Lediglich die Umweltereignisse werden event-driven simuliert, um die Beeinflussung der Ereignisse untereinander zu ermöglichen.

2.2 Interest Management

Wie in Abschnitt 2 bzw. 2.1 geschrieben, soll anhand des Zustandes der Simulation der Detailgrad adaptiv gewählt werden. Dabei sollen die Detailskalen sowohl in unterschiedlichen spatialen als auch temporalen Bereichen der Simulation unterschiedlich gewählt werden können.

Für die Entscheidung, welcher Abstraktionsgrad in welchem Bereich für welche Ereignisse verwendet wird, können teilweise die Verfahren aus dem Bereich des Interest Managements adaptiert werden. So könnte bspw. über ein Aura-Nimbus-Modell (Boulanger u. a. (2006); Benford und Fahlén (1993)) oder ein visibility-based Algorithmus wie Tile Visibility oder Tile Neighbor (nach Boulanger u. a. (2006)) berechnet werden, welche Effekte von Agenten wahrgenommen werden. Dies kann dann bspw. als Kriterium für die Auswahl der Abstraktionsebene verwendet werden.

Boulanger u. a. (2006) hat gezeigt, dass die Verwendung von Algorithmen, welche Hindernisse bei der Berechnung des relevanten Bereiches beachten, die Anzahl der Nachrichten, welche gesendet werden müssen, um den Faktor 6 reduzieren kann. Aufgrund dieses Ergebnisses wird davon ausgegangen, dass eine Adaption eines solchen Algorithmus für die Berechnung der zu verwendenden Abstraktionsebene ebenfalls Einsparungen an Ressourcen ermöglicht. Hierbei können Effekte, welche von keinen Agenten wahrgenommen oder anderen Ereignissen beeinflusst werden, mit einer geringeren Detailstufe berechnet werden, was zu einem geringeren Ressourcenverbrauch führt.

2.3 Vorarbeiten

In Twelkemeier (2012c) wurden verschiedene Definitionen von Ereignissen vorgestellt (Lunze (2006), S. 37, Steel und Wenkstern (2010) sowie Schneider (2011), S. 52), auf welcher die Definition von Ereignissen, wie sie auch in dieser Arbeit verwendet wird, erarbeitet wurde. Des Weiteren können Ereignisse über unterschiedliche Wirkbereiche verfügen (Schneider (2011), Kapitel 5.1.3.4 sowie Steel und Wenkstern (2010)).

Darauf aufbauend wurden in Twelkemeier (2012a) die Anforderungen an eine Simulation mit Ereignissen erarbeitet und vorgestellt. Mit Hilfe dieser Anforderungen sind dann die bestehenden Ansätze DIVAs (Steel und Wenkstern (2010); Steel u. a. (2010b,a)), AIEva (Shi u. a.

(2009)) sowie SimPan (Schneider (2011)) unter den Gesichtspunkten der Modellierung von Ereignissen, dem Aufbau des Systems sowie der Simulation und Wahrnehmung der Ereignisse analysiert worden.

Eine Simulation mit der Unterstützung für Ereignisse wurde dann in Twelkemeier (2012b) vorgestellt. In dieser existiert bereits die Möglichkeit unterschiedliche Effekte, wie bspw. physikalische Effekte, zu simulieren. Die Behandlung der Ereignisse wurde an das Influence-Reaktion Modell von Ferber (1999) (Kap. 4.3) sowie an DIVAs angelehnt (Steel und Wenkstern (2010); Steel u. a. (2010b,a)).

3 Vorgehen

Um die Hypothese aus Abschnitt 2 zu bestätigen, wird ein reales Szenario analysiert und mit allen relevanten Ereignissen modelliert. Hierfür können unterschiedliche Szenarien verwendet werden. In dieser Arbeit wird das Szenario der Loveparade in Duisburg von 2010 untersucht und modelliert, da für dieses Szenario die Berichte verfügbar und einige Ereignisse, wie bspw. das Stolpern durch einen offenen Gulli vorhanden sind (Abschlussbericht Loveparade (2010)). Dies ist wichtig, um im späteren Verlauf der Arbeit mit Hilfe des realen Verlaufs des Szenarios eine Plausibilitätsanalyse der Simulation durchführen zu können.

Anhand des modellierten Szenarios werden dann die nötigen Ereignisse ersichtlich, für welche die Detailskalen identifiziert werden müssen. Des Weiteren sollte untersucht werden, ob Bedingungen für oder gegen bestimmte Detailskalen bei bestimmten Ereignissen existieren, da diese bei der adaptiven Auswahl der Detailskalen berücksichtigt werden müssen.

Für die jeweiligen Detailskalen müssen dann Algorithmen entwickelt oder gefunden werden, welche die Simulation auf der entsprechenden Abstraktionsebene ermöglichen.

Damit die Ereignisse entsprechend durch die Agenten ausgelöst werden, muss das Verhalten der Agenten ggf. angepasst werden, sodass diese eventl. neu entstandene Aktionen ausführen können. Der Schwerpunkt dieser Arbeit wird jedoch nicht auf der Modellierung des Agentenverhaltens liegen.

Mit Hilfe von Verfahren aus dem Bereich des Interest Managements werden dann, wie in Unterabschnitt 2.2 beschrieben, adaptive Detailskalen realisiert.

Bei diesem, wie auch bei den vorhergehenden Schritten, wird nicht nach dem Wasserfall-Modell, sondern iterativ und inkrementell vorgegangen. Das bedeutet, dass auch zwischen den Schritten kleine Simulationen durchgeführt werden, welche überprüfen, ob die Simulationsergebnisse plausibel sind. Dies setzt ein Prinzip von Balci (1995) um, welches besagt, dass die Validierung des Modells in dem Prozess bereits durchgeführt werden muss und nicht erst bei

der fertigen Simulation. Hierdurch können ggf. entstandene Fehler frühzeitig entdeckt und Gegenmaßnahmen entwickelt sowie umgesetzt werden. Außerdem werden die verschiedenen Skalen und ggf. auch neue Ereignisse inkrementell umgesetzt.

Für die anschließende Überprüfung der Simulation wird das modellierte Szenario dann, wie in Unterabschnitt 3.2 beschrieben, simuliert. Hierbei werden Kennzahlen erfasst, welche im Unterabschnitt 3.1 beschrieben sind.

Eine Übersicht über die bestehenden Abhängigkeiten der fachlichen Arbeitsschritte beim geplanten Vorgehen bietet Abbildung 3.

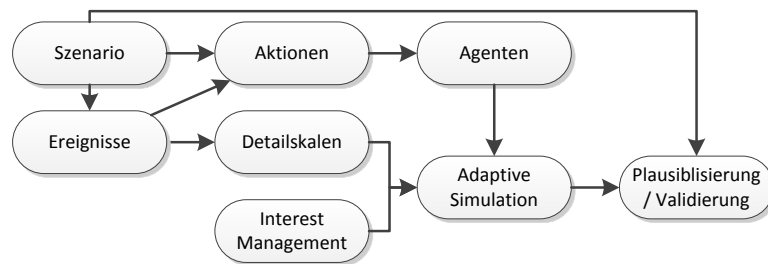


Abbildung 3: Abhängigkeiten beim geplanten Vorgehen

3.1 Ergebnisse

Um die Ergebnisse der Simulation auswerten zu können, sollen einige Daten aus mehreren Simulationsläufen gemittelt werden. Hierdurch sollen einzelne Abweichungen durch stochastische Effekte reduziert werden.

Die Daten, die dazu verwendet werden sollen, können, wie in Abbildung 4 dargestellt, in zwei Hauptbereiche eingeteilt werden: Die Kennzahlen und die visuellen Daten. Die Kennzahlen können dann noch weiter in die fachlichen sowie die technischen Kennzahlen eingeteilt werden.

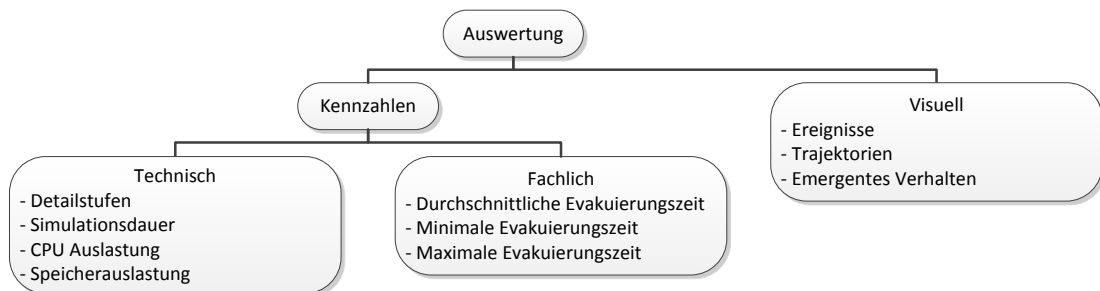


Abbildung 4: Ergebnisse eines Simulationslaufs

Die fachlichen Kennzahlen beziehen sich auf die Evakuierungszeit über alle Agenten. Hierbei wird die durchschnittliche sowie die minimale und maximale Evakuierungszeit gemessen. Diese sollen Aufschluss darüber geben, wie sich die berechnete Zeit verändert, wenn die verschiedenen Detailskalen simuliert werden.

Die technischen Kennzahlen bestehen aus den Detailskalen, der Simulationsdauer, CPU-Auslastung und Speicherauslastung. Hierbei geben die Detailskalen an, an welchem Ort welche Detailskala verwendet wird (spatial) und wann welche temporale Detailskala verwendet wurde.

Die Simulationsdauer misst, die Zeit, die für einen Simulationslauf benötigt wurde. Diese Kennzahl ist abhängig von dem verwendeten System und kann nicht zwischen verschiedenen Systemen verglichen werden. Zusätzlich zu den beiden Kennzahlen zu der CPU- und Speicherauslastung gibt diese einen Aufschluss über die Geschwindigkeit der Simulation bei der aktuellen Konfiguration. Hierüber lassen sich dann ggf. Rückschlüsse auf die Qualität der verwendeten Algorithmen bilden.

Zusätzlich soll eine Visualisierung der Simulation erfolgen. Bei der Auswertung eines Simulationslaufs können darüber die Trajektorien, das emergente Verhalten sowie die Ereignisse analysiert werden. Dies können bspw. Aufstauungen von Menschen sein, welche an bestimmten Orten statt finden, wann wo welche Ereignisse auftreten oder ob sich ein Laning eingestellt hat.

Anhand dieser Daten kann dann eine Plausibilisierung der Simulation, wie in Unterabschnitt 3.2 näher beschrieben, durchgeführt werden.

3.2 Validierung

Um eine Aussage über die Qualität der erreichten Simulation machen zu können, muss überprüft werden, ob die Simulation das Modell korrekt weiter entwickelt. Dies ist jedoch in dem Fall einer MAS Simulation schwierig, da eine solche Simulation viele Parameter besitzt (Teknomo und Gerilla (2005); Klügl (2008)). Des Weiteren ist zu beachten, dass ein Modell lediglich unter den Aspekten validiert werden kann, für welche es entwickelt wurde, da es auch lediglich den Anspruch besitzt, diesen Bereich abzubilden (Balci (1995), DSMO (1996) nach Martis (2006)) Aus diesen Gründen wird eine Plausibilitätsanalyse der Simulation durchgeführt.

Die Plausibilitätsanalyse wird in Klügl (2008) in drei Methoden aufgeteilt: Die Beurteilung der Animation, der Ausgabe bzw. gemessenen Werte und die Beurteilung aus Sicht eines Agenten. Eine weitere Möglichkeit, um die Validierung eines Modells durchzuführen, ist das model alignment (Klügl (2008)). Hierbei liegt die Annahme zugrunde, dass, wenn ein Modell A

der Ergebnisse kommen. Um dieses Risiko zu verringern müssen sowohl die Auslöser als auch die Ereignisse mit den Parametern über eine Sensitivitätsanalyse überprüft werden. Erst wenn alle Ereignisse bzgl. der Sensitivität sich ähnlich der Realität verhalten, können kaskadierende Ereignisse simuliert und plausibilisiert werden.

3.3 Chancen und Risiken

Da sich die Arbeit im Bereich der Simulation befindet, existieren bereits einige Risiken, da einer Simulation ein Modell zugrunde liegt: Es ist möglich, dass das Modell, welches in dieser Arbeit entwickelt wird, nicht der Realität entspricht. Dies hätte die Auswirkung, dass keine oder falsche Informationen durch die Simulation entstehen. Diesem Risiko wird mit den Plausibilitätsanalysen entgegen gewirkt. Dadurch sollen, wie bereits in Abschnitt 3 beschrieben, mögliche Fehler und Abweichungen frühzeitig entdeckt und behoben werden.

Des Weiteren kann sich als Ergebnis der Arbeit heraus stellen, dass die Ressourcenersparnis, welche sich aus der Verwendung von adaptiven Detailskalen ergibt, durch den Aufwand der Berechnung, welche Detailstufe wann verwendet werden soll, arnotisiert oder sich gar ein höherer Ressourcenbedarf ergibt. Da es sich hierbei um ein legitimes Ergebnis handelt, muss in einem solchen Fall überprüft werden, dass der hohe Ressourcenverbrauch nicht durch eine nicht-performante Umsetzung der Algorithmen entstanden ist.

Zusätzlich kann sich bei der Bearbeitung ergeben, dass keine oder nur unzureichende Detailskalen bei den verschiedenen Ereignissen existieren. In diesem Fall kann dies zwei mögliche Ursachen haben: Entweder ist die Hypothese nicht korrekt oder es wurde ein falsches Szenario gewählt, in welchem keine oder zu wenige Ereignisse mit Detailskalen vorhanden sind. In diesem Fall muss ein weiteres Szenario untersucht werden.

Ein großes Risiko, welches besteht ist, dass die Simulation zu sensitiv auf Änderungen reagiert. Durch mögliche Kaskaden von Ereignissen kann es dann dazu führen, dass die Ergebnisse der Simulation stark von der Realität abweichen. Der Grund ist, dass Ereignisse, welche durch ein oder mehrere Ereignisse ausgelöst werden, wovon mindestens eines nicht hätte statt finden sollen, vermutlich auch nicht hätten ausgelöst werden sollen. Dieses Risiko wird ebenfalls über kleine Simulationen, welche die Entwicklungsphase begleiten und eine Sensitivitätsanalyse durchführen, reduziert.

Es kann jedoch auch passieren, dass nicht ausreichend Informationen über reale Szenarien zur Verfügung stehen, anhand derer das Szenario simuliert werden kann. Dieses Risiko wird über die bereits recherchierten Informationen zur Loveparade verringert.

Es ergeben sich aus der Arbeit auch Chancen. Dies ist, bei der Reduzierung der für die Simulation benötigten Ressourcen, eine zeitnahe Simulation von Szenarien unter Berücksichtigung von Ereignissen.

Durch die Simulation von Veranstaltungen im Vorhinein können die bestehenden Konzepte überprüft und ggf. bestehende Probleme aufgedeckt werden.

Wenn es möglich ist die Simulationzeit schneller als in Echtzeit durchzuführen, können ggf. Simulationen von Veranstaltungen durchgeführt werden, während diese Veranstaltungen noch statt finden. Die Ergebnisse einer solchen Simulation der Zukunft bieten jedoch lediglich einen Anhaltspunkt, bzw. je nach Einstellung der Simulation ein Worst-Case Szenario, da plausible Ergebnisse für einzelne Szenarien nicht garantieren, dass die Ergebnisse für alle Szenarien plausibel sind. Die möglichen Probleme, welche von diesem aufgedeckt werden, können so von den Veranstaltern vor Ort verwendet werden, um diese gezielt zu verhindern.

Zusätzlich kann mit Hilfe einer Simulation ein Szenario simuliert werden, welches bereits statt gefunden hat. Dabei können dann unterschiedliche Verläufe analysiert werden, indem mögliche Maßnahmen durchgeführt werden, welche bspw. Ereignisse verhindern. Dadurch können verschiedene Maßnahmen überprüft werden und aus den Situationen der Vergangenheit gelernt werden.

4 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurden das Ziel und Vorgehen der Masterarbeit vorgestellt. Diese umfasst die Behandlung von Ereignissen in Multi-Agenten Simulationen mit adaptiven Detailskalen. Durch diese Wahl von einer der aktuell simulierten Situation angepassten Abstraktionsebene, welche sich zur Simulationszeit jederzeit ändern kann, soll gewährleistet werden, dass die Ergebnisse der Simulation mit möglichst geringen Ressourcen qualitativ gleichbleibend sind.

Als Vorgehen wurde ein iteratives und inkrementelles Vorgehen beschrieben, wobei die Plausibilität und Sensitivität der Simulation in jeder Iteration überprüft und ggf. angepasst wird.

Die Herausforderung bei dieser Arbeit liegt darin, den Abstraktionsgrad so hoch wie möglich und gering wie nötig zu wählen. Des Weiteren muss darauf geachtet werden, dass der Aufwand, welcher für die Auswahl der Detailskalen investiert wird, nicht die Einsparungen der Ressourcen armotisiert, welche durch die höheren Abstraktionsgrade erreicht werden.

Wenn die in Abschnitt 2 genannte Hypothese, dass verschiedene Detailskalen existieren und eine adaptive Auswahl dieser zu Einsparungen von Ressourcen führt, bestätigt werden kann, könnten im besten Fall bspw. Worst-Case Simulationen durchgeführt werden. Sobald die benötigte Zeit zum Simulieren eines Szenarios schneller als Echtzeit durchgeführt werden kann, können diese Analysen auch zu Szenarien durchgeführt werden, welche aktuell statt finden. Hierdurch können dann hoffentlich zukünftige Katastrophen vermieden werden.

Literatur

- [Abschlussbericht Loveparade 2010] STADT DUISBURG; HEUKING KÜHN LÜER WOJTEK: *Bericht zur Untersuchung des Verwaltungshandelns auf Seiten der Stadt Duisburg anlässlich der Loveparade*. 2010. – URL https://www.duisburg.de/ratsinformationssystem/bi/vo0050.php?__kvonr=20056110&voselect=20049862. – Zugriff: 20.02.2013
- [Balci 1995] BALCI, Osman: Principles and techniques of simulation validation, verification, and testing. In: *Proceedings of the 27th conference on Winter simulation*. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 1995 (WSC '95), S. 147–154. – URL <http://dx.doi.org/10.1145/224401.224456>. – ISBN 0-7803-3018-8
- [Benford und Fahlén 1993] BENFORD, Steve ; FAHLÉN, Lennart: A spatial model of interaction in large virtual environments. In: *Proceedings of the third conference on European Conference on Computer-Supported Cooperative Work*. Norwell, MA, USA : Kluwer Academic Publishers, 1993 (ECSCW'93), S. 109–124. – URL <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1241934.1241942>. – ISBN 0-7923-2447-1
- [Boulanger u. a. 2006] BOULANGER, Jean-Sébastien ; KIENZLE, Jörg ; VERBRUGGE, Clark: Comparing interest management algorithms for massively multiplayer games. In: *Proceedings of 5th ACM SIGCOMM workshop on Network and system support for games*. New York, NY, USA : ACM, 2006 (NetGames '06). – URL <http://doi.acm.org/10.1145/1230040.1230069>. – ISBN 1-59593-589-4
- [DSMO 1996] U.S. Department of Defense, Office of the Director of Defense Research and Engineering (Veranst.): *The Principles of Verification, Validation, and Accreditation*. November 1996. – URL www.dsmo.mil/public. – Quelle nach Martis (2006), Zugriff nicht mehr möglich, da diese Quelle nicht mehr existiert.
- [Ferber 1999] FERBER, Jacques: *Mult-Agent Systems - An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*. English Edition. Addison Wesley Longman, 1999
- [Guo und Tay 2008] GUO, Zaiyi ; TAY, Joc C.: Multi-timescale event-scheduling in multi-agent immune simulation models. In: *Biosystems* 91 (2008), Nr. 1, S. 126 – 145. – URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303264707001281>. – ISSN 0303-2647
- [Isringhaus und Schwerdtfeger 2011] ISRINGHAUS, Jörg ; SCHWERDTFEGER, Christian: *Katastrophe auf der Loveparade: „Es war die Hölle auf Erden“*. 2011.

- URL <http://www.rp-online.de/niederrhein-nord/duisburg/nachrichten/es-war-die-hoelle-auf-erden-1.1336663>. – Zugriff: 28.03.2012
- [Klügl 2008] KLÜGL, Franziska: A validation methodology for agent-based simulations. In: *Proceedings of the 2008 ACM symposium on Applied computing*. New York, NY, USA : ACM, 2008 (SAC '08), S. 39–43. – URL <http://doi.acm.org/10.1145/1363686.1363696>. – ISBN 978-1-59593-753-7
- [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
- [Martis 2006] MARTIS, Morvin S.: Validation of simulation based models: a theoretical outlook. In: *The electronic journal of business research methods* 4 (2006), Nr. 1, S. 39–46. – URL <http://www.ejbrm.com/search/index.html?name=keywords&value=%20validation>
- [Schneider 2011] SCHNEIDER, Bernhard: *Die Simulation menschlichen Panikverhaltens*. Bd. 1. Auflage. Vieweg+Teubner Verlag, 2011. – ISBN 978-3-8348-1544-6
- [Shi u. a. 2009] SHI, Jianyong ; REN, Aizhu ; CHEN, Chi: Agent-based evacuation model of large public buildings under fire conditions. In: *Automation in Construction* 18 (2009), Nr. 3, S. 338 – 347. – URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580508001544>. – ISSN 0926-5805
- [Steel u. a. 2010a] STEEL, T. ; KUIPER, D. ; WENKSTERN, R.Z.: Context-Aware Virtual Agents in Open Environments. In: *Autonomic and Autonomous Systems (ICAS), 2010 Sixth International Conference on*, march 2010, S. 90 –96
- [Steel u. a. 2010b] STEEL, T. ; KUIPER, D. ; WENKSTERN, R.Z.: Virtual Agent Perception in Multi-agent Based Simulation Systems. In: *Web Intelligence and Intelligent Agent Technology (WI-IAT), 2010 IEEE/WIC/ACM International Conference on* Bd. 2, 31 2010-sept. 3 2010, S. 453 –456
- [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

- [Teknomo und Gerilla 2005] TEKNOMO, K. ; GERILLA, G.P.: Sensitivity analysis and validation of a multi-agents pedestrian model. In: *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* 6 (2005), S. 198–213
- [Twelkemeier 2012a] TWELKEMEIER, Christian: *Ereignisbehandlung in Multi-Agent Simulationen*. 2012. – URL <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/projekte/master2012-aw2/twelkemeier/bericht.pdf>. – Zugriff: 28.02.2013
- [Twelkemeier 2012b] TWELKEMEIER, Christian: *Konzept zur Behandlung von Ereignissen in Multi-Agenten Simulationen*. 2012. – Unveröffentlicht
- [Twelkemeier 2012c] TWELKEMEIER, Christian: *Modellierung und Behandlung von Ereignissen in Fußgängersimulationen*. 2012. – URL <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/projekte/master11-12-aw1/twelkemeier/bericht.pdf>. – Zugriff: 28.02.2013
- [Zeit Online 2013] ONLINE, Zeit: *232 Tote und viele Verletzte bei Disco-Brand in Brasilien*. 2013. – URL <http://www.zeit.de/gesellschaft/zeitgeschehen/2013-01/disko-brand-brasilien>. – Zugriff: 08.02.2013