



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

# **Seminarausarbeitung Master Semester 2 SoSe 2012**

**Christian Twelkemeier**

**Ereignisbehandlung in Multi-Agent Simulationen**

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
1.1	Ereignisse . . . . .	1
1.2	Anforderungen an eine Simulation . . . . .	2
1.3	Aufbau der Arbeit . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Verwandte Arbeiten</b>	<b>2</b>
2.1	DIVAs . . . . .	2
2.1.1	Modellierung der Ereignisse . . . . .	3
2.1.2	Aufbau des Systems . . . . .	4
2.1.3	Simulation der Ereignisse . . . . .	4
2.1.4	Wahrnehmung der Ereignisse . . . . .	5
2.2	AIEva . . . . .	5
2.2.1	Modellierung der Ereignisse . . . . .	6
2.2.2	Aufbau des Systems . . . . .	6
2.2.3	Simulation der Ereignisse . . . . .	6
2.2.4	Wahrnehmung der Ereignisse . . . . .	7
2.3	SimPan . . . . .	7
2.3.1	Modellierung der Ereignisse . . . . .	7
2.3.2	Aufbau des Systems . . . . .	7
2.3.3	Simulation der Ereignisse . . . . .	8
2.3.4	Wahrnehmung der Ereignisse . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Analyse</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>10</b>

## 1 Einführung

Im Rahmen des WALK Projektes an der HAW Hamburg wird eine Plattform entwickelt, mit welcher das Verhalten einer Menschenmenge, die in Panik gerät, bzw. geraten ist, simuliert werden soll. Hierfür sollen psychologische und soziale Faktoren in den Agenten betrachtet werden (vgl. Münchow (2012), S. 10).

In diesen Szenarien können diverse Ereignisse auftreten, welche für den Verlauf der Simulation relevant sind. Beispielsweise kann ein Mensch stolpern und stürzen. Hierdurch können nachfolgende Menschen beeinflusst werden. Ein weiteres Szenario ist eine Massenpanik, wo ein Weg durch einen Bauzaun versperrt ist. Sobald dieser Bauzaun dem Druck der Menschen nachgibt, wäre ein neuer Weg frei, auf welchem jedoch eine erhöhte Gefahr zum Stolpern gegeben ist.

Um eine höhere Genauigkeit der Simulation von solchen Szenarien zu realisieren, soll im Rahmen des WALK Projektes untersucht werden, wie solche Ereignisse in einer Simulation abgebildet werden können und ob dies zu einer erhöhten Genauigkeit der Simulationsergebnisse führt.

### 1.1 Ereignisse

In dieser Arbeit wird die gleiche Definition eines Ereignisses wie in Twelkemeier (2012) verwendet:

„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.“ (Twelkemeier (2012), S.4)

Diese Definition beschreibt Ereignisse als fachliche Begebenheiten, die in dem simulierten Szenario vorkommen. Nicht mit eingeschlossen sind technische Ereignisse, wie bspw. die Migration eines Agenten auf einen anderen Rechner zum Lastausgleich.

Die Ereignisse werden in Anlehnung an Lunze (2006) (S.38) in interne und externe Ereignisse unterteilt. Die internen Ereignisse sind die, die aus der Simulation gestartet werden und die externen sind die, die von außen, bspw. durch einen Benutzer, der Simulation zugeführt werden.

Wenn ein oder mehrere Ereignisse ein weiteres Ereignis bedingen, so wird dies im Folgenden als Kaskade bzw. Kaskadeneffekt bezeichnet.

### 1.2 Anforderungen an eine Simulation

Für die Analyse der bestehenden Ansätze in dieser Arbeit existieren die folgenden Anforderungen an eine Simulation:

- Umweltveränderungen müssen zur Laufzeit der Simulation möglich sein. Das bedeutet, dass sowohl Agenten als auch Ereignisse die Umwelt verändern können.
- Es müssen Ereignisse während der Simulation gestartet werden können, welche sich dann über die Zeit entsprechend dem realen, physikalischen Ereignis verhalten müssen. Dies kann bspw. ein Feuer sein, welches sich räumlich über die Zeit ausbreitet.
- Externe Ereignisse müssen zur Simulation von Szenarien möglich sein, um reale Szenarien, die statt gefunden haben, im Nachhinein simulieren und analysieren zu können.
- Zur Abbildung der Interaktion zwischen Agenten, müssen Agenten andere Agenten beeinflussen können. Diese Beeinflussung kann bspw. ein Schubsen sein.
- Für die Kaskadeneffekte müssen die Agenten die Ereignisse wahrnehmen können, um entsprechend darauf reagieren zu können.
- Die Ereignisse müssen sich für die Kaskadeneffekte untereinander beeinflussen können. Bspw. muss Wasser das Feuer löschen können.

### 1.3 Aufbau der Arbeit

In dieser Arbeit werden im Abschnitt 2 drei verschiedene Ansätze bezüglich Ereignissen in der Simulation untersucht und beschrieben. Im Anschluss daran werden diese Ansätze im Abschnitt 3, bezogen auf die Anforderungen dieser Arbeit, verglichen und bewertet.

## 2 Verwandte Arbeiten

Im Folgenden werden die Ansätze DIVAs, AIEva und SimPan näher beschrieben.

### 2.1 DIVAs

In Steel und Wenkstern (2010), Steel u. a. (2010b) sowie Steel u. a. (2010a) wird das System DIVAs<sup>1</sup> bezüglich Ereignissen beschrieben. Bei DIVAs handelt es sich um ein Framework für Multi-Agenten Simulationen (vgl. DIVAs Projekt Webseite (2012)). In diesem Ansatz perzipieren

---

<sup>1</sup>Dynamic Information Visualization of Agent systems (Steel und Wenkstern (2010))

die Agenten die Umwelt über Sensoren. Die Ereignisse werden hierbei durch spezielle Agenten, sogenannte Zellencontroller, behandelt, welche den Ablauf und die Ausbreitung von den Ereignissen berechnen. Die Umwelt wird hierfür in Zellen diskretisiert, wobei jeder Zelle ein Zellencontroller zugewiesen wird.

Des Weiteren ermöglicht dieser Ansatz ein Einsteuern von Ereignissen in die laufende Simulation, indem dies direkt an die Zellencontroller geleitet wird und von diesen in die Simulation eingebracht wird.

### 2.1.1 Modellierung der Ereignisse

In DIVAs können die Quellen der Ereignisse, wie in Steel und Wenkstern (2010) beschrieben, in drei verschiedene Gruppen eingeteilt werden: Aktionen, die von Agenten ausgelöst werden, Objekte, die die Umwelt verändern und der Benutzer des Systems, der Ereignisse auslöst.

Eine Aktion, die ein Agent durchführt, kann ein Ereignis auslösen. Dies kann beispielsweise, wie in Steel und Wenkstern (2010) genannt, das Explodieren einer Bombe sein.

Eine weitere Quelle ist eine Veränderung der Umwelt durch ein Objekt. Das bedeutet, dass in der Umwelt ein Objekt existiert, welches eine Auswirkung und dadurch auch eine Veränderung der Umwelt oder ggf. auch der Agenten zur Folge hat. Dies kann beispielsweise, wie ebenfalls in Steel und Wenkstern (2010) genannt, Wind sein.

Zuletzt nennt Steel und Wenkstern (2010) als Quelle den Benutzer des Systems, der Ereignisse auslösen kann.

Des Weiteren werden in diesem Ansatz, wie in Abbildung 1 dargestellt, den Ereignissen Effekte zugeordnet. Die Effekte sind die Wirkungen, die das Ereignis zur Folge hat. Das bedeutet beispielsweise, dass das Ereignis „Ausbruch von Feuer“ die Effekte Hitze, Licht und Rauch besitzt. Daher ist nach Steel und Wenkstern (2010) der Zustand eines Ereignisses zu einem Zeitpunkt, der Zustand aller Effekte zu diesem Zeitpunkt, die das Ereignis als Ursprung besitzen.

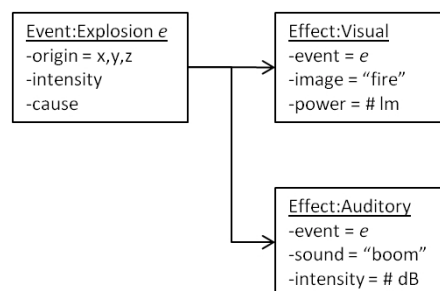


Abbildung 1: Zusammenhang zwischen Ereignissen und Effekten [Steel und Wenkstern (2010)]

### 2.1.2 Aufbau des Systems

Die Simulation der Agenten, der Umgebung sowie die Behandlung der Ereignisse erfolgt in dem Agent Environment System.

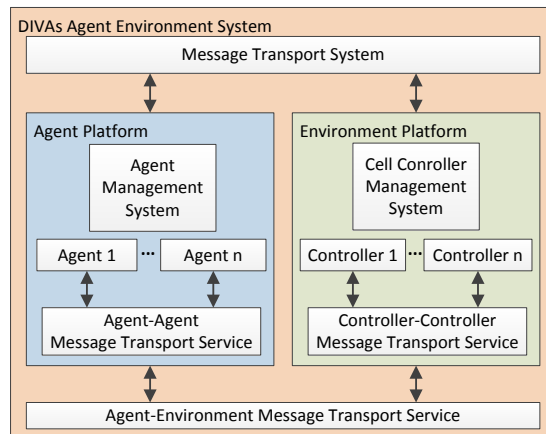


Abbildung 2: Architektur von DIVAs [Angelehnt an Steel und Wenkstern (2010)]

Die Agenten werden in dem Agent Environment System von der Agenten Plattform erstellt und verwaltet. Dabei existiert in dieser Plattform mit dem Agent-Agent Message Transport Service eine Kommunikationsmöglichkeit für die Kommunikation zwischen den Agenten.

In der Agenten Plattform werden unterschiedliche Agenten unterstützt. Dies sind die „normalen“ Agenten sowie die Zellencontroller. Jeder Zelle wird, wie anfangs beschrieben, ein Zellencontroller zugeordnet. Dieser ist dann für die Simulation und Berechnung der Ereignisse in der Zelle zuständig.

### 2.1.3 Simulation der Ereignisse

Für die Simulation der Ereignisse wird nach Steel und Wenkstern (2010) sowie Steel u. a. (2010a) das Influence-Reaction Modell von Ferber (1999) (Kap.4.3) zugrunde gelegt bzw. erweitert (siehe Abbildung 3).

In dem Influence-Reaction Modell werden alle Aktionen in dem Zellencontroller aggregiert. Dies sind sowohl die internen als auch die externen Aktionen.

Jeder Zellencontroller berechnet für seine Zelle die Wirkung bzw. den Effekt des Ereignisses lokal. Hierbei werden eventuelle Beeinflussungen der Ereignisse untereinander ebenfalls berücksichtigt. Der Zellencontroller informiert dann die Agenten, die sich in der Zelle befinden, über die Änderungen.

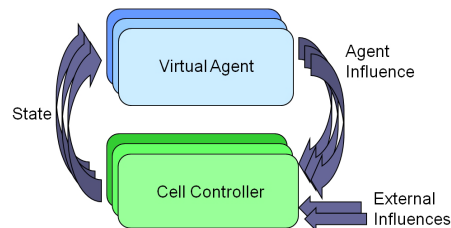


Abbildung 3: Das Influence-Reaktion Modell von DIVAs [Steel u. a. (2010a)]

Falls sich ein Ereignis über die Grenze einer Zelle ausbreiten sollte, informiert der Zellencontroller  $Z1$  der Zelle, von wo sich das Ereignis ausbreitet, den Zellencontroller  $Z2$  der Zelle, in die sich das Ereignis ausbreitet.

Bei einer solchen Ausbreitung muss  $Z1$  den Zellencontroller  $Z2$  zum Zeitpunkt  $t$  informieren, wenn sich das Ereignis zum Zeitpunkt  $t + 1$  in die Zelle des Zellencontrollers  $Z2$  ausbreitet. Das bedeutet, dass  $Z1$  zu einem Zeitpunkt, bevor das Ereignis tatsächlich die Zelle von  $Z2$  erreicht, vorhersagen muss, wann sich das Ereignis dort hin ausbreiten wird. Dieses Verfahren ist an dem Beispiel von Feuer und Wind in Steel und Wenkstern (2010) beschrieben.

### 2.1.4 Wahrnehmung der Ereignisse

Die Wahrnehmung der Ereignisse durch die Agenten geschieht nicht direkt, sondern nur indirekt über die Effekte der Ereignisse. Hierfür existieren in den Agenten, wie in Abbildung 4 dargestellt, Sensoren, über die diese die Umwelt wahrnehmen können. Diese sind an die Sinne des Menschen angelehnt.

Wenn bspw. eine Bombe explodiert wird dies, wie in Unterabschnitt 2.1.3 beschrieben, simuliert. Dabei besitzt das Ereignis „Bombe explodiert“ bspw. akustische, visuelle und taktile Effekte. So nimmt der Agent die Effekte, entsprechend gefiltert, über den jeweiligen Sensor wahr. Ein tauber Agent könnte so über einen Filter simuliert werden, der keine akustischen Signale durchlässt.

## 2.2 AIEva

Bei AIEva handelt es sich um eine agentenbasierte Simulation zur Evakuierung bei Bränden in Gebäuden. Hierbei wird, wie in Shi u. a. (2009) beschrieben, die Möglichkeit der gleichzeitigen Simulation von Feuer und Rauch ermöglicht.

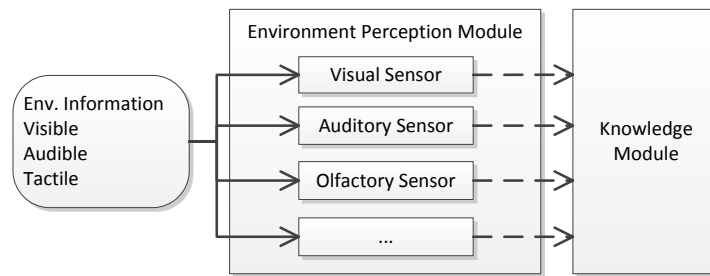


Abbildung 4: Sensoren des Agenten [angelehnt an Steel u. a. (2010b)]

### 2.2.1 Modellierung der Ereignisse

Aus der Publikation von Shi u. a. (2009) wird nur die Möglichkeit der Simulation von Feuer und Rauch ersichtlich. In der diskreten Umwelt werden jeder Zelle entsprechende Werte bzgl. dem Feuer sowie dem Rauch zugewiesen. Hierbei wird in der Simulation ebenfalls beachtet, dass der Rauch toxisch sein kann. Diese Werte, wie toxisch der Bereich ist, werden ebenfalls in den Zellen gespeichert.

### 2.2.2 Aufbau des Systems

Das System kann in zwei Teile eingeteilt werden: Die Umwelt des Systems ist in dem sogenannten Spatial Environment Model (SEM) enthalten, wohingegen die Logik der Agenten in dem Agent Decision Model (ADM) enthalten ist (vgl. Shi u. a. (2009), S. 338).

Die Umwelt ist, wie in Unterabschnitt 2.2.1 bereits beschrieben, diskret. Hierbei wurde als Zellengröße 0,4m x 0,4m gewählt, da dies nach Shi u. a. (2009) der Fläche entspricht, die eine Person im Schnitt belegt<sup>2</sup>.

Diese Zellen können von den Agenten belegt werden, wenn diese noch frei sind und nicht eine Wand oder ein sonstiges Hindernis darstellen.

### 2.2.3 Simulation der Ereignisse

In AIEva wird für die Simulation des Rauchs und des Feuers ein Fire Dynamics Simulator (FDS)<sup>3</sup> verwendet. Dieser berechnet die Ausbreitung des Feuers sowie des Rauchs und speichert diese

---

<sup>2</sup>Weidemann (1993) (S. 15,16) nach Burstedde u. a. (2001) nach Shi u. a. (2009). In Weidemann (1993) (S.15 f.) sind die Angaben differenzierter. Hier wird für die Grundfläche eines Menschen u.a. etwa 0,15 m<sup>2</sup>/Person angegeben. Des Weiteren wird als Form der Grundfläche eine Ellipse angegeben.

<sup>3</sup>Der Autor vermutet dass es sich um den FDS unter FDS-SMV (2012) handelt, da in der Publikation keine genaue Angabe dazu gemacht wurde.



in einer Datenbank. Die Simulation liest dann diese Werte aus der Datenbank und überträgt sie zur entsprechenden Simulationszeit in die Umwelt als Werte der jeweiligen Zelle.

### 2.2.4 Wahrnehmung der Ereignisse

Die Agenten nehmen die Umwelt über eine Von-Neumann-Nachbarschaft wahr. Dabei können die Agenten auf die Werte der Zellen ihrer Nachbarschaft zugreifen und entsprechend reagieren.

## 2.3 SimPan

Schneider (2011) beschreibt in seiner Arbeit ein Modell zur Simulation des menschlichen Panikverhaltens. In diesem Modell werden ebenfalls Ereignisse sowie die Ausbreitung und Wahrnehmung von diesen betrachtet.

### 2.3.1 Modellierung der Ereignisse

In der Arbeit von Schneider (2011) wird der Schwerpunkt auf sogenannte kritische Ereignisse gelegt. Diese sind wie folgt 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)

Für die Simulation der Ereignisse existieren in Schneider (2011) keine genauen Vorgaben, wie bspw. die Auslöser der Ereignisse modelliert werden.

### 2.3.2 Aufbau des Systems

Das System wird in Schneider (2011) als raumdiskret beschrieben. Hierbei wird die Welt in Zellen eingeteilt, wobei es verschiedene Zellentypen, wie bspw. Panikereigniszelle, Chaoszelle oder Verlustzelle, gibt. Für die Modellierung von Wänden oder sonstigen Hindernissen können Hinderniszellen verwendet werden. Diese können einen maximalen Druck absorbieren, bevor sie sich in eine neutrale Zelle verändern. Eine neutrale Zelle kann, wenn sie frei ist, von einem Agenten betreten werden.

Jeder Zelle können Werte zugeordnet werden. Dies wird in Schneider (2011) als „[...] Konzept der Datenhaltung in Zellen“ (Schneider (2011), S.137) beschrieben. Diese Werte bilden Daten ab, die durch Agenten, die sich auf der Zelle befinden, perzipiert werden können.

Um zu modellieren, dass ein Notausgangsschild auch von einer größeren Entfernung wahrgenommen werden kann, wird in Schneider (2011) das „[...] Konzept der Einflussbereiche“ (Schneider (2011), S.136) beschrieben.

Dieses Konzept sagt aus, dass Eigenschaften von Zellen andere Zellen beeinflussen können. In Abbildung 5 sind exemplarisch zwei verschiedene Einflussbereiche dargestellt: Die schwarze Zelle ist jeweils die beeinflussende Zelle, wobei die dunkelgrauen Zellen die beeinflussten Zellen sind. Die weißen Zellen sind nicht beeinflusst.

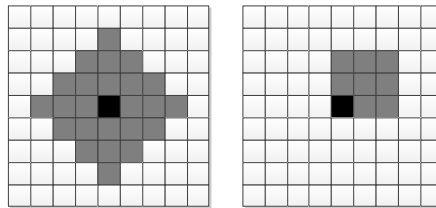


Abbildung 5: Zwei verschiedene Einflussbereiche [angelehnt an Schneider (2011), S.137]

Zusätzlich zu der Umgebung, kann auch ein Agent Informationen verbreiten. Dies wird in Schneider (2011) dann als Informationssphäre bezeichnet.

### 2.3.3 Simulation der Ereignisse

Beim Eintritt eines kritischen Ereignisses werden, wie in Unterabschnitt 2.3.1 beschrieben, die Zelle oder die Zellen in denen sich das Ereignis abspielt, in Zellen vom Typ Panikereigniszelle geändert. Wenn es sich bei dem Ereignis beispielsweise um eine Explosion handelt, können ebenfalls weitere umliegende Zellen in den Typ Chaoszelle geändert werden (vgl. Schneider (2011), S.146f.)

Für die Abbildung eines Ausbreitungsverhaltens wird in Schneider (2011) (S. 148ff.) zu dem sogenannten lokalen Wirkbereich ein sogenannter dynamischer Wirkbereich eingeführt. Der lokale Wirkbereich ist der Bereich, in dem sich das Ereignis sofort ausgebreitet hat. Dagegen kann der dynamische Wirkbereich sich im Laufe der Simulation verändern. Das könnte bspw. die Ausdehnung des Feuers sein.

Des Weiteren ermöglicht das Referenzmodell SimPan eine Abbildung des Drucks, der auf einen Agenten oder ein Hindernis wirkt. Hierfür wird, wie in Abbildung 6 dargestellt, der Druck, der von einer einzelnen Zelle ausgeht, als Attribut der Umwelt in der Druck ausübenden Zelle gespeichert. Der Druck, der dann auf eine Zelle oder einen Agenten wirkt, ist dann die Summe der Druck-Attribute der umliegenden Zellen.

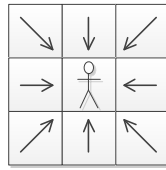


Abbildung 6: Druck, der auf einen Agenten wirkt [angelehnt an Schneider (2011), S.156]

#### 2.3.4 Wahrnehmung der Ereignisse

Die Agenten können, entsprechend dem „Prinzip der Datenhaltung in Zellen“ (Schneider (2011), S.137), auf die Werte der Zelle zugreifen, auf der sie sich befinden. In diesen Zellen sind dann entsprechend verschiedene Werte für die Effekte gespeichert.

## 3 Analyse

Alle in Abschnitt 2 beschriebenen Ansätze haben gemein, dass die Umwelt für die Simulation der Ereignisse diskretisiert wird. In den beiden letzten Ansätzen (AIEva und SimPan) wird durch diese diskrete Umwelt jeweils einer Zelle ein Zustand bzgl. des Ereignisses zugewiesen. Dies ist bspw. in SimPan eine Chaoszelle oder in AIEva eine Zelle, wo bereits ein Feuer brennt. Bei DIVAs wird diese Diskretisierung der Umwelt nur für die Zuständigkeitsbereiche der Zellencontroller beschrieben.

Lediglich in den Ansätzen DIVAs und SimPan ist eine Beeinflussung der Umwelt durch den Agenten möglich. In AIEva ist dies nicht beschrieben und für den Autor aufgrund der Beschreibung nicht ersichtlich, da ein Eingreifen ggf. die Ausbreitung des Feuers und Rauchs verändert. Dies würde zur Laufzeit eine erneute Simulation der Werte durch den FDS erfordern, was aus der Beschreibung nicht ersichtlich ist.

In SimPan und DIVAs ist eine Beeinflussung der laufenden Simulation durch Agenten möglich. Dadurch sind in diesen Ansätzen auch kaskadierende Ereignisse möglich. In DIVAs wird dies durch das Influence-Reaction Model näher beschrieben.

Bei der Simulation der Ereignisse ordnet AIEva die Werte aus einem vorhandenen Simulationssystem der Umwelt in der Simulation zu. Jedoch wird hierbei lediglich ein Ereignis (Feuer und Rauch) unterstützt. DIVAs und SimPan ermöglichen dagegen verschiedene Ereignisse, wobei jedoch keine Aussage darüber getroffen wird, wie die Ereignisse bzw. die Ausbreitung berechnet wird. Es ist in DIVAs jedoch nicht ersichtlich, dass Ereignisse nicht deterministisch berechnet werden können, da jeder Zellencontroller lokal berechnen muss, ob und wann sich ein Ereignis in eine Nachbarzelle ausbreitet.

Eine direkte Interaktion zwischen verschiedenen Agenten wird in keinem der Ansätze beschrieben. Lediglich DIVAs bietet eine Agent zu Agent Kommunikation an, welche jedoch nicht näher beschrieben ist.

Bei der Wahrnehmung der Ereignisse aus der Simulation existieren zwei verschiedene Ansätze: Der erste Ansatz ist, die Abbildung der menschlichen Sinne auf Sensoren in den Agenten durchzuführen. Dadurch wird eine Trennung zwischen den Eindrücken, die der Agent perzipieren kann, getroffen. Des Weiteren ermöglicht dies eine weitergehende Strukturierung als der zweite Ansatz. Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass ggf. nicht jede Veränderung der Umwelt an jeden Agenten gesendet wird, da dies bei vielen Agenten zu einer geringen Performance führen könnte.

In dem zweiten Ansatz, welcher in SimPan und AIEva verwendet wird, wird die Perzeption der Agenten durch Auslesen der Umwelt-Zelle realisiert. Hierbei können die Agenten auch eine Menge von Zellen abfragen (Shi u. a. (2009)). Dieser Ansatz liefert nicht automatisch eine Trennung zwischen den verschiedenen Ebenen der Wahrnehmung. Diese Trennung könnte jedoch über verschiedene Typen für Werte, wie bspw. visuell oder auditiv, eingeführt werden.

Der Vorteil bei einer Sensor-basierten Wahrnehmung ist, dass für jeden Sensor in jedem Agenten ein Filter definiert werden kann, welcher von den Ereignissen individuell angepasst werden kann. Bspw. könnte ein lauter Knall zu einer Anpassung der Filter des auditiven Sensors bei Agenten in der Nähe führen, was zur Folge hat, dass diese weniger Daten über den auditiven Sensor verarbeiten können.

Eine Benutzerinteraktion ist in den drei vorgestellten Ansätzen nur in DIVAs beschrieben. Bei AIEva ist eine solche Möglichkeit aufgrund des Aufbaus der Simulation nicht ersichtlich und bei SimPan wird darauf nicht eingegangen.

## 4 Zusammenfassung

Anhand der Anforderungen aus Abschnitt 1 wurden in Abschnitt 2 drei verwandte Arbeiten betrachtet. Hierbei hat sich gezeigt, dass der Ansatz von DIVAs die meisten Anforderungen abdeckt. Es bleibt jedoch offen, wie verschiedene Ereignisse in dem Zellencontroller simuliert werden. Speziell bei nicht deterministischen Effekten ist unklar, wie jeder Controller für sich die Ausbreitung der Effekte berechnet.

Für die Simulation von Ereignissen können sowohl die Modellierung des Drucks aus SimPan als auch der Ansatz, wie in AIEva, eine vorhandene Simulation für spezielle Effekte zu nutzen, verwendet werden.

Für die Simulation von Ereigniskaskaden sollte untersucht werden, ob dies mit einer Kombination der Ansätze möglich ist.

## Literatur

- [Burstedde u. a. 2001] BURSTEDDE, C ; KLAUCK, K ; SCHADSCHNEIDER, A ; ZITTARTZ, J: Simulation of pedestrian dynamics using a two-dimensional cellular automaton. In: *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 295 (2001), Nr. 3?4, S. 507 – 525. – URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437101001418>. – ISSN 0378-4371
- [DIVAs Projekt Webseite 2012] *DIVAs Projekt Webseite*. 2012. – URL <http://mavs.utdallas.edu/node/4>. – Zugriff: 21.07.2012
- [FDS-SMV 2012] *Webseite Fire Dynamics Simulator and Smokeview (FDS-SMV)*. 2012. – URL <http://www.fire.nist.gov/fds/>. – Zugriff: 21.07.2012
- [Ferber 1999] FERBER, Jacques: *Mult-Agent Systems - An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*. English Edition. Addison Wesley Longman, 1999
- [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
- [Münchow 2012] MÜNCHOW, Stefan: Modellierung menschlichen Verhaltens im Rahmen der Entfluchtungssimulation WALK / HAW Hamburg. URL <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/projekte/master11-12-aw1/muenchow/bericht.pdf>, 2012. – Forschungsbericht
- [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

[Twelkemeier 2012] TWELKEMEIER, Christian: Modellierung und Behandlung von Ereignissen in Fußgängersimulationen / HAW Hamburg. URL <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/projekte/master11-12-aw1/twelkemeier/bericht.pdf>, 2012. – Forschungsbericht

[Weidemann 1993] WEIDEMANN, Ulrich: Transporttechnik der Fussgänger. zweite, ergänzte Auflage (1993), März