



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Seminarausarbeitung

Master Informatik - WiSe 2012/13

Carsten Noetzel

**Simulation der Infektionsausbreitung über öffentliche
Verkehrsmittel**

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Ziel der Masterarbeit	1
1.2	Motivation	1
1.3	Arbeitshypothese	2
1.4	Abgrenzung	2
2	Vorarbeiten	3
2.1	Anwendungen 1	3
2.2	Anwendungen 2	3
2.3	Projekt 1	3
2.4	Projekt 2	4
3	Methodisches Vorgehen	5
3.1	Anforderungen	5
3.1.1	Krankheit	5
3.1.2	Population	5
3.1.3	Dynamik innerhalb der Verkehrsmittel	6
3.1.4	Lokalitäten	6
3.1.5	Verkehrsnetz	7
3.2	SCA-Modell	7
3.3	Validierung	8
4	Fazit	10
4.1	Chancen	10
4.2	Risiken	10
4.2.1	Technische Risiken	10
4.2.2	Risiken der Modellierung	11
4.2.3	Fachliche Risiken	11
4.3	Schlussfolgerung	11
	Literaturverzeichnis	12

1 Einführung

1.1 Ziel der Masterarbeit

Agenten-basierte Simulationsmodelle werden immer häufiger eingesetzt, um die spatio-temporale Ausbreitung von Infektionskrankheiten zu untersuchen. Hierbei geht es vor allem darum Erkenntnisse zu gewinnen und mögliche Maßnahmen zur Eindämmung auf ihre Wirksamkeit zu untersuchen. Häufig bleiben dabei jedoch öffentliche Verkehrsmittel unberücksichtigt, welche gerade in Metropolregionen eine maßgebliche Rolle bei der Übertragung und Verbreitung von Krankheitserregern spielen (Noetzel, 2012).

Das Ziel meiner Masterarbeit ist es ein Simulationsmodell zu entwickeln, mit dem die Rolle der öffentlichen Verkehrsmittel bei der Infektionsübertragung untersucht werden soll.

Die Masterarbeit umfasst die Entwicklung des Simulationsmodells und die Untersuchung des Situated-Cellular-Agent-Modells zur Nachbildung des Verhaltens innerhalb von Verkehrsmitteln. Dabei soll geklärt werden in wie weit sich dieses formale mathematische Framework zur Beschreibung des Verhaltens innerhalb eines öffentlichen Transportmittels eignet und was bei der Modellierung beachtet werden muss, beziehungsweise welche Erweiterungen notwendig sind, um das Konzept für diese Art von Simulationsmodellen brauchbar zu machen.

In Zusammenarbeit mit Herrn Prof. Dr. Ralf Reintjes von der Fakultät Life Sciences der HAW Hamburg wird ein epidemiologisches Szenario entwickelt, welches beispielhaft mit dem Modell untersucht werden soll.

1.2 Motivation

Die Motivation hinter meiner Arbeit resultiert aus der Tatsache, dass die Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel immer weiter zunimmt. Der Hamburger Verkehrsverbund hat innerhalb von nur fünf Jahren einen Fahrgastzuwachs von 20 % (2005: 560 Millionen Fahrgäste, 2010: 676 Millionen Fahrgäste) erfahren. Dabei sind durchschnittlich 2,3 Millionen Fahrgäste pro Werktag unterwegs (HVV, 2011).

Gerade zu Stoßzeiten treffen in den Verkehrsmitteln viele Menschen aufeinander und stehen oft dicht gedrängt zusammen. Zudem gibt es innerhalb der Verkehrsmittel viele gemeinsam

genutzte Oberflächen, die eine Infektionsübertragung begünstigen und somit zur Verbreitung von Krankheitserregern beitragen.

Dies und der Fakt, dass öffentliche Verkehrsmittel in bisherigen Simulationen weitestgehend unberücksichtigt geblieben sind, motivieren mich ein solches Modell zu erstellen, um einen ersten Vorstoß in dieses Gebiet zu wagen.

1.3 Arbeitshypothese

Die Arbeitshypothese meiner Masterarbeit ist, dass öffentliche Verkehrsmittel eine maßgebliche Rolle bei der temporalen und spatialen Ausbreitung von Infektionskrankheiten spielen und häufig selbst der Ort der Infektionsübertragung sind.

Diese These soll mit Hilfe des zu erstellenden Modells und des zu definierenden Szenarios untersucht werden.

1.4 Abgrenzung

Der Fokus meiner Arbeit soll auf der Infektionsübertragung innerhalb der Verkehrsmittel liegen. Dazu werden verschiedene Übertragungswege der Krankheitserreger und Verhaltensweisen der Passagiere bei der Modellierung berücksichtigt. Die öffentlichen Verkehrsmittel werden sich auf die U-Bahn Linien des Hamburger Verkehrsverbundes beschränken, welche von Individuen mit unterschiedlichen Tagesabläufen genutzt werden um Aktivitäten nachzugehen.

Nur eine sehr grobe Betrachtung erhalten die stationären Aktivitäten, welche in Lokalisationen ausgeführt werden. Hierbei werden feste Infektionswahrscheinlichkeiten für Tätigkeiten zu Hause, am Arbeitsplatz oder in der Schule angenommen.

2 Vorarbeiten

2.1 Anwendungen 1

Ziel dieser Ausarbeitung war es, sich mit dem Themengebiet vertraut zu machen und wenn möglich eine Lücke zu finden in der es Sinn macht weitere Forschungsarbeit zu leisten. Die Ausarbeitung gibt einen groben Überblick über die Grundlagen im Bereich epidemiologischer Simulationen und stellt einige Simulationsmodelle mit ihren Schwächen bei der Berücksichtigung öffentlicher Verkehrsmittel vor (Noetzel, 2011).

2.2 Anwendungen 2

Nach Erarbeitung der Grundlagen und Festlegung eines Themas befasst sich dieser Teil mit der Untersuchung vergleichbarer Arbeiten und möglichen Ansätzen, mit denen das eigene Vorhaben umgesetzt werden kann. Die aufgezeigten Ansätze werden bewertet, auf ihre Eignung hin untersucht und zudem die Rolle öffentlicher Verkehrsmittel bei der Ausbreitung von Infektionen bekräftigt (Noetzel, 2012).

2.3 Projekt 1

Im ersten Projekt wurden die Grundlagen für alle weiteren praktischen Arbeiten umgesetzt. Inhalt war vor allem die grobe Konzeption der Software-Architektur, die Modellierung der spatialen Umgebung von U-Bahn-Wagons und erste Implementierungen bezüglich des Situated-Cellular-Agent Modell. Das Ergebnis des Projektes war ein lauffähiger Prototyp, dargestellt in Abbildung 2.1, in dem Agenten in eine U-Bahn einsteigen und sich einen Sitzplatz suchen konnten.

Die rechte Seite des Ausschnitts wurde von David Seeger in seiner Bachelorarbeit „Simulation des Hamburger U-Bahn-Verkehrs als Basis für Infektionsmodelle“ implementiert und an das System angebunden (Seeger, 2013).

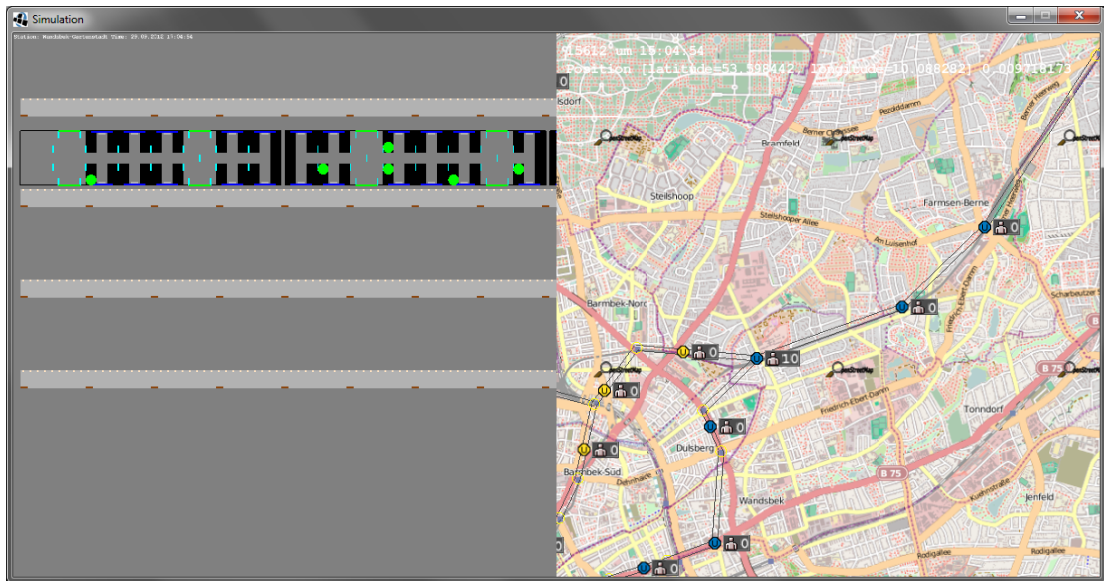


Abbildung 2.1: Screenshot vom Prototyp aus Projekt 1

2.4 Projekt 2

Im zweiten Projekt wurde Lokaltäten und Stadtteile abgebildet, wobei die Besiedelung der Stadtteile auf Basis der vom Statistikamt-Nord gelieferten Zahlen erfolgt. Ziel war es, erste Untersuchungen zur Skalierbarkeit des Simulationsmodells durchzuführen, wenn mehrere Agenten von unterschiedlichen Lokaltäten zu unterschiedlichen Zielen aufbrechen.

Das Ergebnis dieser Untersuchen war im Hinblick auf die Skalierbarkeit des Modells negativ, sodass weitere Änderungen an dem Modell nötig sind um größere Anzahlen von Agenten simulieren zu können. Die nächsten Schritte werden einen Umbau der Architektur und die Verwendung des Akka-Frameworks, welches auf dem in Java 7 eingeführten Fork/Join-Framework basiert, beinhalten.

3 Methodisches Vorgehen

3.1 Anforderungen

Um die Arbeitshypothese beantworten zu können, müssen zunächst die Anforderungen an das Simulationsmodell definiert und mögliche Lösungsansätze untersucht werden. Hierbei stellt sich zunächst die Frage nach den Merkmalen, welche aus der Realität in das Modell übernommen werden sollen.

3.1.1 Krankheit

Als zu untersuchender Krankheitserreger wird der Influenzavirus gewählt, da er in regelmäßigen Abständen für pandemische Ausbrüche sorgt und wiederkehrend ist. Die Viren können sich dabei über verschiedene Übertragungswege verbreiten, wobei die Kontakt- und Tröpfcheninfektion als am wahrscheinlichsten für die Übertragung gelten (Van-Tam und Sellwood, 2009). Aus diesem Grund werden auch nur diese beiden Arten bei der Modellierung berücksichtigt und Übertragungswege wie Schwebstoff- und Bindehaut-Infektion ignoriert.

Des Weiteren sind die Inkubationszeit, die Dauer der Infektion und der Krankheitsverlauf von Bedeutung, welche teilweise von den Eigenschaften des Individuums abhängen. Diese Werte werden parametrisierbar gehalten, um Änderungen an der Simulation vornehmen zu können. Die Überlebensrate von Krankheitserregern auf Oberflächen ist abhängig von der Beschaffenheit der Oberfläche und muss ebenfalls für die indirekte Kontaktinfektion berücksichtigt werden, wobei im Modell nur zwei Arten von Oberflächen berücksichtigt werden.

Zur Umsetzung der genannten Anforderungen eignen sich das SEIR-Modell, auf welches bereits im AW1-Vortrag eingegangen wurde und diverse Studien, die sich mit der Überlebensdauer von Erregern auf Oberflächen beschäftigen (Bean u. a., 1982; Greatorrex u. a., 2011; Noetzel, 2011).

3.1.2 Population

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Modellierung ist die Population, die sich aus Individuen mit unterschiedlichen Eigenschaften und Verhaltensweisen auszeichnet. Den einzelnen

Individuen werden Tagesabläufe -sogenannte Aktivitäten-Pläne- mitgegeben, aus denen ein realitätsnahes Reiseverhalten resultieren soll. Muss ein Individuum beispielsweise zu seiner Arbeitsstelle gelangen, sucht es sich selbstständig eine Reiseroute auf Basis des Verkehrsnetzes und tritt die Reise an. Das Verhalten im Verkehrsmittel ergibt sich aus den vorher definierten Verhaltensmustern.

Als Basis für die Population dient die RiMEA-Standardpopulation unter Berücksichtigung der Bachelorarbeit von Tommy Redel, die sich mit der Physis von Agenten beschäftigt (Redel, 2012). Die Individuen werden als intelligente Agenten modelliert, welche über asynchronen Nachrichtenaustausch miteinander und anderen Objekten der Umwelt interagieren. Die Population wird auf Basis der vom Statistikamt Nord veröffentlichten Bevölkerungs-Daten im Stadtgebiet besiedelt.

3.1.3 Dynamik innerhalb der Verkehrsmittel

Zur Nachbildung der Dynamik innerhalb der Verkehrsmittel müssen realitätsnahe Abbildungen der spatialen Struktur von U-Bahn-Waggons geschaffen werden. Aktionen innerhalb des Waggons, wie die Suche nach einem Sitzplatz oder das Entsorgen von Müll müssen ebenfalls betrachtet werden, um die Kontaktinfektion über kontaminierte Oberflächen zu berücksichtigen.

Basis zur Umsetzung dieser Anforderungen bildet das Situated-Cellular-Agent-Modell, bei dem sich Agenten anhand von Feldern orientieren, die von Objekten der Umgebung ausgestrahlt werden. Ein Teil der Masterarbeit wird die Untersuchung dieses formalen Frameworks auf seine Eignung für solche Arten von Simulation beinhalten.

3.1.4 Lokalitäten

Stationäre Aktivitäten in Lokalitäten werden nur grob berücksichtigt. Es wird verschiedene Typen von Lokalitäten geben, die von bestimmten Gruppen der Bevölkerung aufgesucht werden. Auf Basis der Informationen von welcher Altersklasse eine bestimmte Lokalität in der Regel besucht wird, werden die Aktivitäten-Pläne der Population generiert. Innerhalb der Lokalität gibt es feste Infektionswahrscheinlichkeiten, mit denen sich die Individuen gegenseitig anstecken können, wenn sich infizierte und gesunde Individuen in der gleichen Lokalität aufhalten.

Grundlage für die Identifikation und Positionierung dieser Orte sind die aus OpenStreetMap ausgelesenen Daten für das Hamburger Stadtgebiet.

3.1.5 Verkehrsnetz

Die Abbildung des Transportnetzwerkes umfasst die Abbildung der U-Bahnlinien des Hamburger Verkehrsverbundes mit ihren Stationen, sowie die Visualisierung des Stadtgebietes. Die Bahnen fahren nach realen Fahrplänen unter Berücksichtigung der Tageszeit und des Wochentages. Es ist möglich Routenanfragen an das Transportnetzwerk zu stellen, welches dann eine Route zum Zielort zurückgibt. Die Routen werden vom Transportnetzwerk verwaltet, sodass es als in sich abgeschlossene Komponente betrachtet werden kann.

Dieses Thema wurde als eigenständige Bachelorarbeit ausgegliedert und von David Seeger bearbeitet (Seeger, 2013).

3.2 SCA-Modell

Das SCA-Modell bildet die Grundlage für das Verhalten der Passagiere. Das Vorgehen nach Bandini sieht vor, dass zunächst die spatiale Struktur der Umgebung festgelegt wird. In diesem Fall werden Waggons abgebildet, in denen sich die Agenten auf Basis eines Netzes von Wegpunkten bewegen sollen (Bandini u. a., 2005).

Der zweite Schritt umfasst die Identifizierung der aktiven Elemente der Umgebung und die Definition der Felder, die diese Objekte ausstrahlen. Im Fall eines Waggons sind das diejenigen Objekte, mit denen die Individuen interagieren sollen, um sich zu infizieren. Modelliert werden Sitze (schwarz), Griffe (türkis), Türen (grün), Fenster (blau), Mülleimer (grau) und Ausgänge (braun). Über die spatiale Struktur, dargestellt durch die weißen Punkte, bewegen sich die Individuen beeinflusst durch die Felder, die von den Objekten ausgestrahlt werden.

Abbildung 3.1 zeigt die in Projekt 1 entwickelte Struktur, mit dem sich über die Wegpunkte ausbreitenden Feld eines Sitzes.

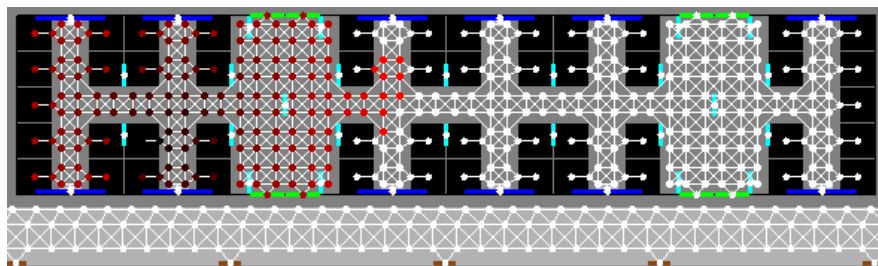


Abbildung 3.1: Spatiale Struktur eines Waggons

Der dritte Schritt umfasst die Definition der mobilen Agenten. Das SCA-Modell sieht vor,

dass der Agent unterschiedliche Zustände annehmen kann, in denen bestimmte Aktionen möglich sind. Abhängig vom aktuellen Zustand wird der Agent von Felder angezogen oder abgestoßen woraus sich sein Verhalten ergibt.

Abbildung 3.2 zeigt die derzeitige Beschreibung von Agenten. Zustandswechsel können entweder durch Events getriggert werden, die beispielsweise eine U-Bahn beim Einfahren in eine Station auslöst oder durch die Wahrnehmung bestimmter Felder.

Ziel der Masterarbeit ist es diese Strukturen zu untersuchen, anzupassen und auf ihre Eignung hinsichtlich der Simulation des Verhaltens von Passagieren innerhalb von Verkehrsmitteln zu prüfen.

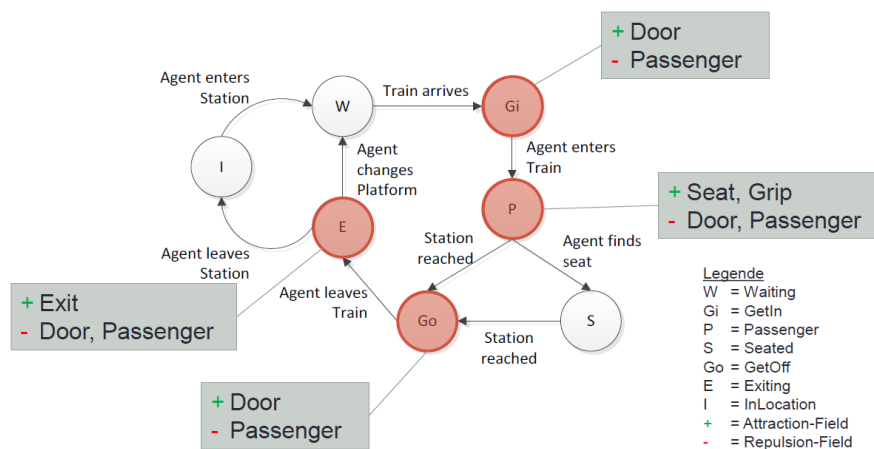


Abbildung 3.2: Zustandsdefinition der mobilen Agenten

3.3 Validierung

Um das Simulationsmodell validieren zu können, müssen Ausgaben definiert werden, die sich mit empirischen Daten und anderen Simulationen vergleichen lassen. In Zusammenarbeit mit Herrn Prof. Dr. Ralf Reintjes von der Fakultät Life Science wurden dazu die Ausgaben definiert, die das Simulationsmodell produzieren soll.

Die Anzahl an Neuerkrankungen pro Woche, die Auskunft über den Verlauf eines Ausbruchs geben, werden in einer sogenannten „Epi-Curve“ ersichtlich sein. Zudem wird es aufgrund der Unterteilung des Stadtgebietes in die einzelnen Stadtteile und Bezirke möglich sein die Ausbreitung über das Stadtgebiet zu untersuchen und gegebenenfalls Auswertungen auf Bezirksebene durchzuführen.

3 Methodisches Vorgehen

Empirische Daten zur Validierung sind über das Institut für Hygiene und Umwelt erhältlich. Die Jahresberichte für die Jahre 2009 und 2010 sind öffentlich einsehbar und enthalten Daten zur H1N1-Pandemie (Schweinegrippe), wovon die „Epi-Curve“ in Abbildung 3.3 dargestellt ist. Durch die Unterteilung des Stadtgebietes in Bezirke und Stadtteile sind theoretisch auch detailliertere Auswertungen möglich.

Auf Basis dieser Daten sollte es möglich sein das Simulationsmodell zu validieren oder zumindest zu plausibilisieren, um im Anschluss das Szenario beispielhaft untersuchen zu können.

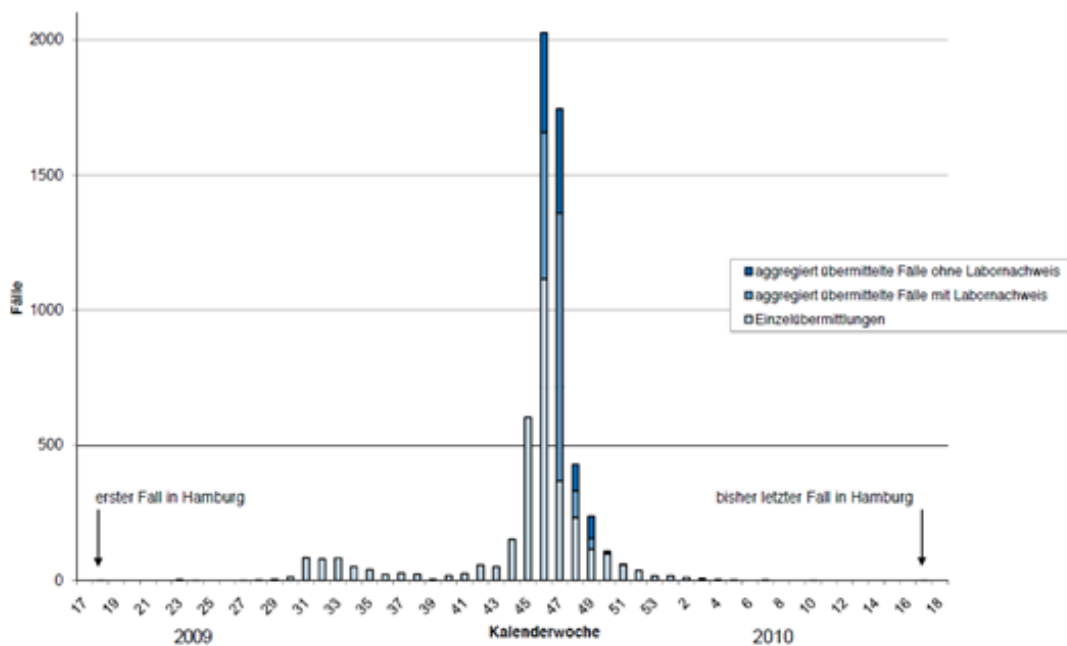


Abbildung 3.3: Anzahl der Influenza-Neuerkrankungen pro Woche in Hamburg 2009/2010
(Fell und Brandau, 2009)

4 Fazit

4.1 Chancen

Ist das Ergebnis der Masterarbeit ein valides Simulationsmodell, lassen sich mit dem Modell „Was-wäre-wenn“-Analysen durchführen, die helfen die Infektionsübertragung innerhalb öffentlicher Verkehrsmittel einzudämmen. Beispielsweise lässt sich simulieren was passiert, wenn in U-Bahnen spezielle Oberflächen für Griffe genutzt würden, die die Überlebensrate von Viren senken. Ergebnisse dieser Untersuchungen können dann auf die Realität übertragen und gezielte Handlungsmaßnahmen abgeleitet werden.

Ein weiterer Aspekt ist der Informationsgewinn über das Verhältnis zwischen dem Übertragungsrisiko bei stationären und mobilen Tätigkeiten. Bisher werden bei Simulationen häufig nur stationäre Tätigkeiten berücksichtigt und öffentliche Verkehrsmittel meist ignoriert.

Eine weitere Chance besteht darin, dass die Arbeit anschaulich zeigt, wie das SCA-Modell für die Art von Simulation genutzt werden kann und wird somit sicherlich Anstoß für weitere Forschungstätigkeiten sein.

Nach Abschluss der Arbeit wird erstmalig ein Simulationsmodell erstellt worden sein, welches das Verhalten von Passagieren und die damit verbundene Übertragung von Krankheitserregern in dieser Tiefe simuliert.

4.2 Risiken

4.2.1 Technische Risiken

Den Chancen stehen erhebliche Risiken gegenüber. Das Modell könnte eine so schlechte Skalierbarkeit ausweisen, dass sich nur geringe Zahlen von Agenten simulieren lassen. Derzeit sind die Agenten als Threads implementiert, wodurch das Scheduling gerade zu den Stoßzeiten, wenn viele Agenten im Transportnetz unterwegs sind einen großen Overhead erzeugt. Die Performance-Untersuchungen, die am Ende des zweiten Projektes durchgeführt wurden, haben diese Risiko bestätigt, sodass die Architektur nochmals überarbeitet werden muss. Anstelle der Threads wird jetzt das auf Scala und dem Java Fork/Join-Framework basierende Akka-

Framework verwendet.

4.2.2 Risiken der Modellierung

Die Sensitivität des Modells ist ebenfalls ein großes Risiko. Die minimale Änderung von Eingabeparametern könnte große Auswirkungen auf das Simulationsergebnis haben. Um dem entgegenzuwirken, wird im Anschluss eine Sensitivitätsanalyse des Modells durchgeführt.

Auch besteht das Risiko, dass das Modell die Realität nicht in der Tiefe abbildet, die benötigt wird um konkrete und korrekte Aussagen zur Infektionsausbreitung treffen zu können. Als Gegenmaßnahme wird darauf geachtet, dass möglichst alle Aspekte berücksichtigt werden, die potentiell Auswirkungen auf die Übertragung haben könnten.

4.2.3 Fachliche Risiken

Ein weiterer Punkt ist die Validierung des Simulationsmodells. Die Hamburger Infektionsdaten beziehen sich auf die Anzahl der Neuerkrankungen im gesamten Stadtgebiet, wobei jedoch nicht sicher ist, wo sich die einzelnen Personen angesteckt haben. Hinzu kommt, dass nur ein Teil der Erkrankungen gemeldet wurde und die Dunkelziffer der erkrankten Personen wohl deutlich höher lag. Im Zweifel lässt sich nur abschätzen ob die Simulationsergebnisse in die richtige Richtung gehen oder völlig von den empirischen Daten abweichen.

4.3 Schlussfolgerung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich trotz der Risiken ein erster Vorstoß in diese Richtung der Infektionsforschung lohnt. Einem Teil der genannten Risiken, können direkt Maßnahmen zugeordnet werden, die die Eintrittswahrscheinlichkeit senken oder die beim Eintreten des Risikos die Auswirkung eindämmen. Die Masterarbeit kann als eine Art „Proof of Concept“ angesehen werden, um mit Hilfe einer agenten-basierten Simulation das Verhalten von Individuen innerhalb eines öffentlichen Transportmittels und damit die Übertragung von Krankheitserregern zu simulieren. Öffentliche Verkehrsmittel werden in den Metropolregionen eine immer wichtiger werdende Rolle spielen und somit sollte man sich auch mit den potentiellen Risiken befassen, die sich daraus ergeben.

Literaturverzeichnis

- [Bandini u. a. 2005] BANDINI, Stefania ; FEDERICI, Mizar L. ; VIZZARI, Guiseppe: A methodology for crowd modelling with situated cellular agents. In: *WOA 2005* (2005), S. 91–98. – URL <http://www-lia.deis.unibo.it/books/woa2005/papers/13.pdf>
- [Bean u. a. 1982] BEAN, B ; MOORE, B M. ; STERNER, B ; PETERSON, L R. ; GERDING, D N. ; BALFOUR, H H.: *Survival of Influenza Viruses on Environmental Surfaces*. Juli 1982. – URL <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6282993>
- [Fell und Brandau 2009] FELL, Gerhard ; BRANDAU, Daniel: Meldepflichtige Infektionskrankheiten in Hamburg 2009 Epidemiologischer Bericht / Institut für Hygiene und Umwelt. Hamburg, 2009. – Forschungsbericht. – URL <http://www.hamburg.de/contentblob/2463562/data/jahresbericht-2009-infektionsepidemiologie.pdf>
- [Greatorex u. a. 2011] GREATOREX, Jane S. ; DIGARD, Paul ; CURRAN, Martin D. ; MOYNIHAN, Robert ; WENSLEY, Harrison ; VARSANI, Harsha ; GARCIA, Fayna ; ENSTONE, Joanne ; TAM, Jonathan S. Nguyen-van: Survival of Influenza A (H1N1) on Materials Found in Households : Implications for Infection Control. 6 (2011), Nr. 11, S. 2–7
- [HVV 2011] HVV: *Zahlenspiegel*. 2011. – URL <http://www.hvv.de/ueber-uns/hvv-in-zahlen/index.php>
- [Noetzel 2011] NOETZEL, Carsten: *Multiagentensysteme in der Epidemiologie*. 2011. – URL <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/projekte/master2012-aw2/noetzel/bericht.pdf>
- [Noetzel 2012] NOETZEL, Carsten: *Epidemiological modelling of public transport*. 2012. – URL <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/projekte/master2012-aw2/noetzel/bericht.pdf>
- [Redel 2012] REDEL, Tommy: *Konzeption einer Physis für einen Agenten in einem Multiagentensystem am Beispiel von WALK*, HAW Hamburg, Bachelor-Thesis, 2012

- [Seeger 2013] SEEGER, David: *Simulation des Hamburger U-Bahn-Verkehrs als Basis für Infektionsmodelle*, HAW Hamburg, Bachelor-Thesis, 2013
- [Van-Tam und Sellwood 2009] VAN-TAM, J. (Hrsg.) ; SELLWOOD, C. (Hrsg.): *Introduction to pandemic influenza*. Wallingford : Cabi, 2009. – URL <http://www.cabi.org/CABeBooks/default.aspx?site=107&page=45&LoadModule=PDFHier&BookID=489>. – ISBN 9781845936259