

# Fast-Echtzeit vs. Echtzeit – die Auswirkungen von Echtzeit-Datenintegration am Beispiel einer agentenbasierten Modellierung im GIS

Florian HILLEN<sup>1</sup> und Bernhard HÖFLE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>IGF, Universität Osnabrück · fhillen@igf.uos.de

<sup>2</sup>Geographisches Institut, Universität Heidelberg

## Zusammenfassung

Geo-Sensoren liefern in der heutigen Zeit Informationen mit einer sehr hohen zeitlichen Auslösung. Für eine Vielzahl von geographischen Fragestellungen besteht die Möglichkeit diese stetig aktualisierten Informationen in Echtzeit in Analysen, Visualisierungen oder Simulationen zu integrieren. Die Integration von (quasi) kontinuierlichen Datenströmen stellt dabei eine technische Herausforderung dar, bietet jedoch wesentliche Vorteile hinsichtlich der Aktualität sowie der Korrektheit der Anwendung. Diese Arbeit fokussiert auf die Integration von Informationen aus Fernerkundungs- und Smartphone-Sensordaten in eine Agentenbasierte Modellierung (ABM) für die Untersuchung von Personenbewegungen im Rahmen von Großveranstaltungen. Ein besonderes Augenmerk liegt hier auf dem Vergleich der Datenintegration in Fast-Echtzeit (10 und 15 Sekunden) sowie in Echtzeit (1 und 2 Sekunden) und die daraus resultierenden Veränderungen des Modellierungsergebnisses. Dabei zeigt sich, dass unter Verwendung von höheren Aktualisierungsfrequenzen die tatsächliche Bewegung einer Person exakter simuliert werden kann. Geringere Frequenzen hingegen führen zu geglätteten Bewegungsverläufen, da eventuelle Hindernisse, die im Verlauf der Simulation auftreten, nicht einbezogen werden können.

## 1 Einleitung

Die Verfügbarkeit und die Nutzung von Geoinformationen haben sich im vergangenen Jahrzehnt entscheidend gewandelt. Lieferten Geodaten früher hauptsächlich statische Informationen in Form von traditionellen Vektor- oder Rasterdaten, so haben der Einzug des Internets in die Geoinformatik und die Verfügbarkeit von kostengünstigen (Geo-) Sensoren, wie z. B. in Smartphones, die Geodaten dynamisiert und die Nutzung hochaktueller Daten ermöglicht. Aktuelle Entwicklungen in den Forschungsbereichen der Geosensornetzwerke, der Echtzeitprozessierung von Geodaten und der Sensorfusion sowie die Entwicklung der zugehörigen Standards des Open Geospatial Consortium (OGC) bestätigen diesen Trend (siehe RESCH 2012).

Die Integration hochaktueller Geoinformationen ist in besonderer Weise für zeitkritische Anwendungen, wie z. B. Precision Farming (DONG et al. 2013) oder auch für diverse Sicherheitsfragestellungen (CHATFIELD et al. 2013), von höchster Wichtigkeit. Je nach Fragestellung ist die Aktualität der Daten maßgeblich entscheidend für die Korrektheit z. B. der

Analyse oder der Simulation. Mit der Erhöhung der Frequenz der Datenaktualisierung steigt in der Regel der Aufwand hinsichtlich Datenspeicherung und Analyseaufwand proportional an. In dieser Arbeit wird die Auswirkung der Aktualisierungsfrequenz von Echtzeit (1 und 2 Sekunden) gegenüber Fast-Echtzeit (10 und 15 Sekunden) auf das Analyseergebnis untersucht. Als Anwendungsbeispiel dient dabei die Simulation von Personenbewegungen bei Großveranstaltungen. Mittels agentenbasierter Modellierung wird der Bewegungsverlauf einer Testperson durch eine Menschenmenge simuliert (vgl. KERRIDGE et al. 2001, TORRENS 2011). Da sich viele Passanten im Testgebiet aufhalten, muss diese Testperson möglichst ohne Kollisionen durch diese Menschenmenge hindurch navigieren. Dabei werden Informationen aus Fernerkundungsbildern (Position der Passanten) und Smartphone-Sensordaten (Bewegungsrichtung der Testperson) jeweils in verschiedenen Zeitintervallen in die Modellierung integriert.

## 2 Agentenbasierte Modellierung

Die Agentenbasierte Modellierung (ABM) beschreibt die Modellierung eines Systems mittels spezifischer Einheiten, genannt Agenten (JENNINGS 2000). Jeder Agent besitzt dabei die Fähigkeit, auf seine Umgebung und seine momentane Situation anhand vordefinierter Regelsätze zu reagieren. Ebenso können die Agenten durch festgelegte Beziehung untereinander interagieren und sich in ihrem Verhalten beeinflussen. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, dass Agenten aus ihrer Erfahrung lernen und sich somit dynamisch weiterentwickeln (BONABEAU 2002). Heutzutage findet ABM in den verschiedensten Bereichen Anwendung, wie z. B. Evakuierungsmanagement (CHEN et al. 2006), Verkehrs- und Besucherflussmodellierung (LODHI et al. 2012, BAYDAR 2003) oder den Sozialwissenschaften (HELBING 2012).

Durch die beginnende Verbindung zwischen ABM und Geoinformationssystemen (GIS) zu Beginn der 1990er-Jahre ist es zum einen möglich in einer definierten räumlichen Umgebung zu modellieren sowie sämtliche räumliche Funktionen und Analysen in diese Modellierung bzw. Simulation einfließen zu lassen (GIMBLETT 2002). In dieser Arbeit wird hierfür die Software Agent Analyst (ESRI 2013), die die Entwicklung von Agentenbasierten Modellen und deren Einbindung in ArcGIS ermöglicht, verwendet.

## 3 Methodik

Mithilfe der ABM soll im Folgenden der Bewegungsverlauf einer Testperson durch eine Menschenmenge simuliert werden. Hierzu werden Bewegungsdaten vom Smartphone der Testperson sowie die Positionen der Passanten im Untersuchungsgebiet abgeleitet aus Fernerkundungsdaten in das Modell integriert. Das Aktualisierungsintervall der letztgenannten Passantenpositionen variiert dabei entsprechend der zu untersuchenden Aktualisierungsfrequenz (1, 2, 10 oder 15 Sekunden).

Das zugrunde liegende Modell basiert auf den Grundannahmen, die von HILLEN et al. (2014) zur Modellierung von Bewegungen einer einzelnen Testperson zu einem definierten Ziel unter Einbeziehung der realen Positionen aller im Testgebiet befindlichen Personen skizziert wurden. Die Testperson zeichnet dabei ihre aktuelle Position und Bewegungsrichtung

tung durch Smartphone-Sensoren (GPS und Beschleunigungssensoren) auf. Die modellierte Laufrichtung setzt sich dabei aus der direkten Verbindung zum Zielpunkt und der aufgenommenen Bewegungsrichtung der Smartphone-Sensoren zusammen. Zudem wird im Modell festgelegt, dass die Testperson den anderen Personen ausweichen soll, sofern diese den Laufweg durchkreuzen. Hierzu wird eine „Comfort Zone“ von 50 cm definiert in der sich keine andere Person befinden darf.

Bei dem modellierten Szenario handelt es sich um eine zeitkritische Anwendung, bei der die Bewegung der anderen Personen einen erheblichen Einfluss auf die Bewegungsrichtung der Testperson hat. Die (quasi) Echtzeitkomponente wird daher erweitert, indem die Positionsdaten der Passanten in festgelegten Intervallen aktualisiert werden (5 Sekunden bei HILLEN et al. 2014). Ohne diese Aktualisierung der Daten kann keine realistische Modellierung der tatsächlichen Bewegung der Testperson durchgeführt werden, da in diesem Fall angenommen wird, dass alle anderen Personen in der Szene innerhalb des Intervalls auf ihrer Position verweilen. Erst durch die Integration aktueller Informationen wird eine realistische Grundlage für die Modellierung geschaffen.

In dieser Arbeit wird die Simulation von HILLEN et al. (2014) erweitert, um die Auswirkungen der Aktualisierungsfrequenz zu untersuchen. Dazu werden die Bewegungsmuster der Testperson bei variierender Frequenz mit dem tatsächlichen Bewegungsverlauf verglichen. In dem durchgeführten Experiment werden nicht nur höhere Frequenzen (1 und 2 Sekunden), sondern auch niedrigere Frequenzen (10 und 15 Sekunden) untersucht. Die Entfernungen der resultierenden Bewegungsverläufe vom eigentlichen Verlauf der Testperson werden anschließend verglichen. Die Güte der Simulation kann somit sowohl visuell als auch statistisch interpretiert werden.

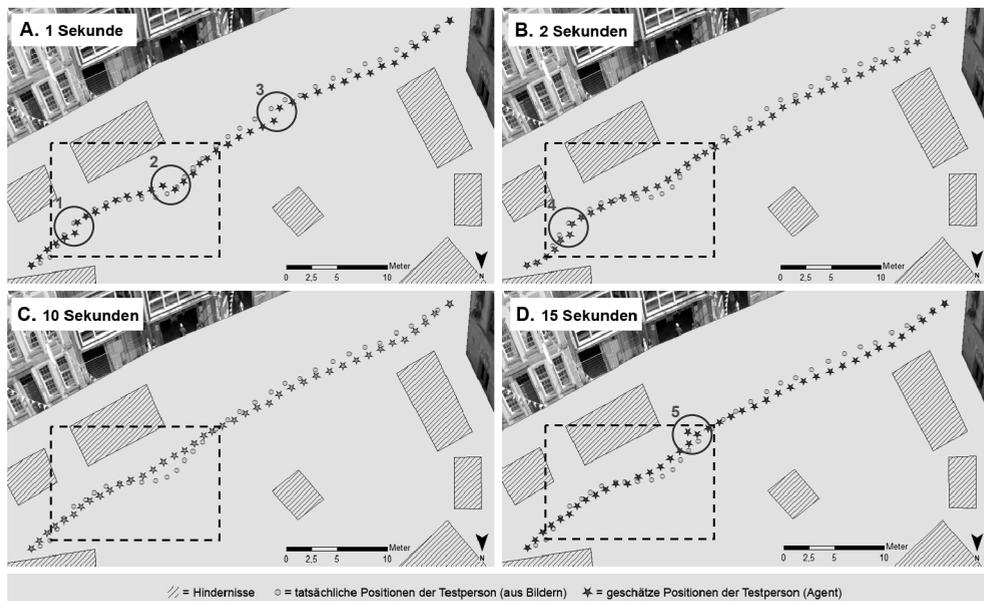
## 4 Ergebnisse

Unterschiedliche Aktualisierungsfrequenzen führen zu abweichenden Modellierungsergebnissen hinsichtlich der Anpassung an den tatsächlichen Bewegungsverlauf der Testperson. Abbildung 1 zeigt die Ergebnisse der getesteten Frequenzen von 1 Sekunde (A), 2 Sekunden (B), 10 Sekunden (C) und 15 Sekunden (D). Der Startpunkt des Agenten befindet sich jeweils in der linken unteren und das Ziel in der oberen rechten Ecke. Die grünen Punkte symbolisieren die tatsächlichen Positionen der Testperson, welche aus den Bildern abgeleitet wurden. Die sternenförmigen Symbole mit unterschiedlichen Farben zeigen die geschätzten Positionen der Testperson, also des Agenten.

Die Modellierungsergebnisse mit einer Frequenz von 1 bzw. 2 Sekunden für die Aktualisierung der Positionen der Passanten weisen visuell eine gute Übereinstimmung der geschätzten Positionen mit dem tatsächlichen Verlauf der Testperson auf. Dieses gilt im Besonderen auch für den kurvigen Bewegungsverlauf zu Beginn der Modellierung (gestricheltes Rechteck in Abb. 1), bei dem die Testperson und somit auch der Agent besonders vielen Passanten ausweichen muss. Es ist jedoch zu beobachten, dass der Verlauf bei einer Aktualisierungsfrequenz von 2 Sekunden deutlich homogener ist als der teilweise sprunghafte Verlauf bei 1 Sekunde (siehe Hotspots 1, 2 und 3 in Abb. 1). Diese Sprünge lassen sich durch andere Passanten erklären, die den Weg des Agenten kreuzen. Bei einer Aktualisierung in 2 Sekunden Abständen, ist die Wahrscheinlichkeit daher deutlich höher, dass der entsprechende Passant sich bereits weiter bewegt hat und somit den Weg des Agenten nicht mehr

direkt beeinflusst (einzige Übereinstimmung in Hotspot 1 und 4 in Abb. 1). Der Verlauf wirkt daher geglätteter. Dennoch ist das Ergebnis des Modells A statistisch geringfügig besser (arithmetisches Mittel: 0,49 m / Standardabweichung: 0,24 m) als das Ergebnis von Modell B (arithmetisches Mittel: 0,52 m / Standardabweichung: 0,26 m) hinsichtlich des Abstandes zu den tatsächlichen Positionen der Testperson.

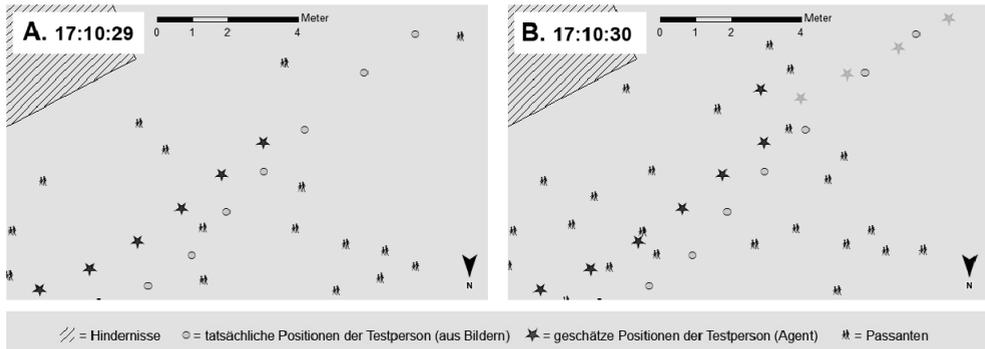
Demgegenüber passen sich die Modellierungsergebnisse mit 10 bzw. 15 Sekunden Aktualisierungsfrequenz weniger deutlich dem eigentlichen Verlauf der Testperson an. Ein auffällig geradliniger Bewegungsverlauf zeigt sich in der Fokusregion zu Beginn der Modellierung (gestricheltes Rechteck in Abb. 1), der durch weniger Dynamik bei den Passanten aufgrund der geringen Aktualisierungsfrequenz zu begründen ist.



**Abb. 1:** Modellierungsergebnisse mit unterschiedlichen Aktualisierungsfrequenzen der relevanten Daten. A: 1 Sekunde, B: 2 Sekunden, C: 10 Sekunden, D: 15 Sekunden. Die Fokusregion mit den größten Unterschieden ist mit einem gestricheltem Rechteck markiert. Hotspots sind durchnummeriert und mit einem roten Kreis gekennzeichnet.

Auffällig bei geringen Aktualisierungsfrequenzen ist die Fehleranfälligkeit bedingt durch (i) ausgelassene Hindernisse, die gar nicht erfasst wurden sowie durch (ii) Hindernisse die plötzlich auftauchen. Letzterer Aspekt lässt sich in den Modellierungsergebnissen deutlich am Hotspot 5 bei Modell D (siehe Abb. 1) beobachten. Abbildung 2 zeigt diesen Ausschnitt der Modellierungsergebnisse mit einer Aktualisierungsfrequenz von 15 Sekunden zum Zeitpunkt 17:10:29 Uhr (A) und 17:10:30 Uhr (B). Bevor die neue Position für den Agenten durch das Modell berechnet wird (A), verändert sich jedoch beim Übergang von A zu B die Datengrundlage durch die Aktualisierung der Passanten. Ein vorher nicht erkennbarer Passant befindet sich nun im Weg des Agenten, der reagieren und ausweichen muss. Diese

Korrektur widerspricht jedoch dem eigentlichen Bewegungsverlauf der Testperson. Gleichgeartete Korrekturen finden sich auch beim Modell A und B aus Abbildung 1 mit einer Aktualisierungsfrequenz von 1 Sekunde bzw. 2 Sekunden (siehe Hotspots 1, 2, 3 und 4). Hier sind diese Korrekturen aufgrund der hohen Aktualität der Daten jedoch korrigierend und nähern sich dem eigentlichen Verlauf der Testperson wieder an, anstatt von ihm abzuweichen.



**Abb. 2:** Ausschnitt der Modellierungsergebnisse mit einer Aktualisierungsfrequenz 15 Sekunden zum Zeitpunkt 17:10:29 Uhr (A) und 17:10:30 Uhr (B) mit veränderter Datengrundlage der Passanten. Transparent dargestellt der weitere Modellierungsverlauf für Teil B.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass eine höhere Aktualisierungsfrequenz der Eingangsdaten (in diesem Fall der Passantenpositionen), gerade in diesem zeitkritischen Anwendungsfall, das erzielte Resultat verbessert. Dieses lässt sich deutlich im Vergleich der Modelle A und B zu den Modellen C und D aus Abbildung 1 erkennen. Die Modelle mit einer höheren Aktualisierungsfrequenz passen sich sowohl visuell als auch statistisch (maximale Distanz A: 0,95 m / C: 1,29 m) dem tatsächlichen Verlauf der Testperson besser an.

Je nach Anwendungsfall muss jedoch abwogen werden, ob ein höherer Aufwand hinsichtlich Analysegeschwindigkeit und Datenspeicherung in Kauf zu nehmen ist. Die durchgeführten Analysen sind daher eine wichtige Grundlage für die Entwicklung neuer Modellierungsansätze sowie für zukünftige Datenaufnahmen bei Großereignissen, wie bei Fußballspielen und Festivals.

## Literatur

- BAYDAR, C. (2003), Agent-based modeling and simulation of store performance for personalized pricing. Proc. Simulation Conference, 2003, 1759-1764.
- BONABEAU, E. (2002), Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. PNAS, 99, No. Suppl 3, 7280-7287.

- CHATFIELD, A. T., SCHOLL, H. J. & BRAJAWIDAGDA, U. (2013), Tsunami early warnings via Twitter in government: Net-savvy citizens' co-production of time-critical public information services. *Government Information Quarterly*, 30 (4), 377-386.
- CHEN, X., MEAKER, J. W. & ZHAN, F. B. (2006), Agent-Based Modeling and Analysis of Hurricane Evacuation Procedures for the Florida Keys. *Natural Hazards*, 38 (3), 321-338.
- DONG, X., VURAN, M. & IRMAK (2013), Autonomous precision agriculture through integration of wireless underground sensor networks with center pivot irrigation systems. *Ad Hoc Networks*, 11 (7), 1975-1987.
- ESRI (2013), *Agent Analyst: Agent-Based Modeling in ArcGIS*.  
<http://resources.arcgis.com/en/help/agent-analyst/> (01.04.2014).
- GIMBLETT, H. R. (2002), Integrating Geographic Information Systems and Agent-based Technologies for Modeling and Simulating Social and Ecological Phenomena. In: *Integrating Geographic Information Systems and Agent-based Modeling Techniques for Simulating Social and Ecological Processes*, 1-20.
- HELBING, D. (2012), *Social self-organization: Agent-based simulations and experiments to study emergent social behavior*. Springer.
- HILLEN, F., HÖFLE, B., EHLERS, M. & REINARTZ, P. (2014), Information Fusion Infrastructure for Remote Sensing and In-Situ Sensor Data to Model People Dynamics. *International Journal of Image and Data Fusion*, accepted for publication, 5 (1), 54-69.
- JENNINGS, N. R. (2000), On agent-based software engineering. *Artificial Intelligence*, 117 (2), 277-296.
- KERRIDGE, J., HINE, J. & WIGAN, M. (2001), Agent-based modelling of pedestrian movements: the questions that need to be asked and answered. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 28 (3), 327-341.
- LODHI, A., DHAMDHERE, A. & DOVROLIS, C. (2012), GENESIS: An agent-based model of interdomain network formation, traffic flow and economics. *Proc. IEEE INFOCOM*, 2012, 1197-1205.
- RESCH, B. (2012), *Live Geography – Standardised Geo-sensor Webs for Real-time Monitoring in Urban Environments*. Dissertations in Geographic Information Science, Akademische Verlagsgesellschaft AKA GmbH, Heidelberg.
- TORRENS, P. M. (2011), Moving Agent Pedestrians Through Space and Time. *Annals of the Association of American Geographers*, 102 (1), 35-66.