

---

*Universität Münster*

---

# GEOINFORMATIONSFUSION FÜR ZEITKRITISCHE GEO-ANWENDUNGEN BEI GROSSVERANSTALTUNGEN

Florian Hillen

---

**Zusammenfassung:** Bedingt durch die wachsende Zahl an Sensoren (sowohl traditionelle Erdbeobachtungssensoren als auch Kleinstsensoren z. B. in Smartphones) steht eine Flut an Geoinformationen – teils in Echtzeit – zur Verfügung, die viele neuartige zeitkritische Anwendungen ermöglichen. In diesem Beitrag werden die Möglichkeiten und der Mehrwert der Fusion von Geoinformationen aus unterschiedlichsten Datenquellen am Beispiel von zwei zeitkritischen Anwendungen aufgezeigt. In Anwendungsfall 1 wird eine agentenbasierte Modellierung von Bewegungen von Einzelpersonen durch die Kombination von Fernerkundungsbildern und Smartphone-Bewegungsdaten präsentiert. Die Modellierungsergebnisse entsprachen, abhängig von der Wahl der Integrationsfrequenz neuer Informationen (von 1 Sekunde bis 15 Sekunden), mit geringen Abweichungen (0,95 m – 1,29 m maximale Distanz) dem tatsächlichen Bewegungsverlauf der Testperson. Der Vergleich der Integrationsfrequenzen verdeutlicht die Wichtigkeit von Echtzeit-Geoinformationen für die konkrete zeitkritische Fragestellung in Hinblick auf Modellierungsfehler und Genauigkeit der Ergebnisse. Anwendungsfall 2 verdeutlicht den Mehrwert der Geoinformationsfusion durch die Generierung einer aktuellen Datenbasis für räumliche Auswertungen am Beispiel von Routenberechnungen auf Grundlage von Menschendichteinformationen. Diese werden aus Fernerkundungsbildern und Smartphone-Messungen abgeleitet und fusioniert. Die komplementären Möglichkeiten zur großflächigen Datenerhebung durch Fernerkundungsdaten (die jedoch häufig zeitlich eingeschränkt ist) sowie der nur punktuellen, jedoch hochaktuellen Messung von Smartphones werden dabei sinnvoll kombiniert. Aufgrund der zunehmenden Allgegenwärtigkeit von Sensoren im Alltag kann die Geoinformationsfusion eine essenzielle Rolle bei der Verwertung und effektiven Nutzung dieser Datenquellen für zeitkritische Geo-Anwendungen einnehmen.

**Schlüsselwörter:** Geoinformationsfusion, Menschendichte, Menschenbewegungen, agentenbasierte Modellierung, Routenberechnung, Großveranstaltungen

---

## GEO-INFORMATION FUSION FOR TIME-CRITICAL GEO-APPLICATIONS DURING MAJOR EVENTS

**Abstract:** Based on the rising number of sensors (traditional earth observation sensors as well as small sensors for example integrated in smartphones), a flood on geo-information is available (partly in real-time) that allows for a variety of novel time-critical geo-applications. This article presents possibilities and the added value of fusing geo-information from different data sources by presenting two exemplary time-critical use cases. For use case 1 an agent-based model for estimating the movement of individuals is presented that is based on the combination of remote sensing images and smartphone movement data. The modelling results correspond to the original walking path of the test person with slight deviations (0.95 m to 1.29 m maximum distance), depending on the integration frequency of new information (from 1 second to 15 seconds). The comparison of different integration frequencies also emphasises the importance of real-time geo-information for this time-critical question regarding errors in modelling and the accuracy of results. Use case 2 illustrates the added value of fused geo-information by generating an up-to-date data base for spatial analysis in the context of route calculation based on crowd density information. This information is derived from remote sensing images and smartphone measurements. The key aspect is the combination of the complementary opportunities of the data sources: the large-scale but temporal limited data acquisition from remote sensors with up-to-date but punctual measurements from smartphones. Due to the increasing ubiquity of sensors in daily life, geo-information fusion has the potential to play a major role regarding exploitation and effective usage of such data sources for time-critical geo-applications.

**Keywords:** Geo-information fusion, crowd density, people movement, agent-based modelling, route calculation, major events

**Autor**

Dr. Florian Hillen  
 Universität Münster  
 Institut für Geoinformatik  
 Heisenbergstraße 2  
 D-48149 Münster  
 E: florian.hillen@uni-muenster.de

**1 EINLEITUNG**

Die Verfügbarkeit von präzisen und hochaktuellen Geoinformationen über verschiedenste Phänomene auf unserer Erde sind essenziell wichtig vor allem für Wissenschaftler, aber auch für politische Entscheidungsträger. Geoinformationen werden in der Regel aus Erdbeobachtungsdaten extrahiert, die von Fernerkundungssensoren (z. B. installiert auf Satelliten oder verschiedenen Luffahrzeugen) sowie von Sensoren auf und unterhalb der Erdoberfläche gesammelt werden. Die Anzahl an Sensoren steigt in den letzten Jahren enorm und Erdbeobachtungsdaten sind über Systeme wie GEOSS, Copernicus oder INSPIRE – häufig bereits in naher Echtzeit – verfügbar. Die Zahl der „traditionellen“ Sensoren wird dabei durch die Zahl der allgegenwärtigen Kleinstsensoren, die beispielweise in Smartphones verbaut sind (Gartner 2015), noch übertroffen. Aktuelle Trends wie „wearable sensors“ (PR Newswire 2015), also Kleinstsensoren, die z. B. in Kleidungsstücke eingenäht sind, aber auch das populäre „Internet of Things“ verheißen auch künftig ein weiterhin rasantes Wachstum von Sensordaten, die mehr oder weniger wichtige Informationen über unsere Umwelt zur Verfügung stellen. Diese Flut an Informationen, die teils in Echtzeit zur Verfügung stehen, ermöglicht die Entwicklung neuartiger, zeitkritischer Geo-Anwendungen, die noch vor zehn Jahren nicht denkbar gewesen wären. Diese Entwicklungen bringen jedoch auch spezielle Herausforderungen, z. B. hinsichtlich effizienter Algorithmen und einer hohen Aktualität der Informationen, mit sich.

Im Kontext der großen Menge an Echtzeit-Geoinformationen lässt sich der Begriff „Geoinformationsfusion“ platzieren. Der Oberbegriff „Fusion“ ist in der Geoinformatik inhaltlich mehrfach besetzt durch Kon-

zepte wie „data fusion“ (Waltz & Llinas 1990), „image fusion“ (Klonus & Ehlers 2009), „sensor fusion“ (Moravec 1988) sowie „multi sensor fusion“ (Schall et al. 2009), die gerade in der Fernerkundung seit langer Zeit weitverbreitet sind (siehe auch Del Grande 1990, Ehlers 1991). Die generelle Idee aller Fusionsansätze ist es, durch die Kombination von Daten oder Informationen aus unterschiedlichen Datenquellen neue Erkenntnisse zu generieren, die nicht aus den einzelnen Quellen für sich abgeleitet werden können. Dieses Grundprinzip gilt auch für die Geoinformationsfusion, jedoch auf Informations- und nicht auf Datenebene. Die Geoinformation ist dabei der „kleinste gemeinsame Nenner“ aller Geodaten und ermöglicht somit auch die Kombination von unterschiedlichen Eingabe-Datentypen, die bei anderen Fusionsansätzen nicht ohne Weiteres möglich ist. Am Beispiel einer fiktiven Verkehrsüberwachung lassen sich auf diese Weise Verkehrsdichteinformationen aus Verkehrskameras, In-situ-Sensoren im Straßennetz

und Smartphone-Daten der Verkehrsteilnehmer kombinieren.

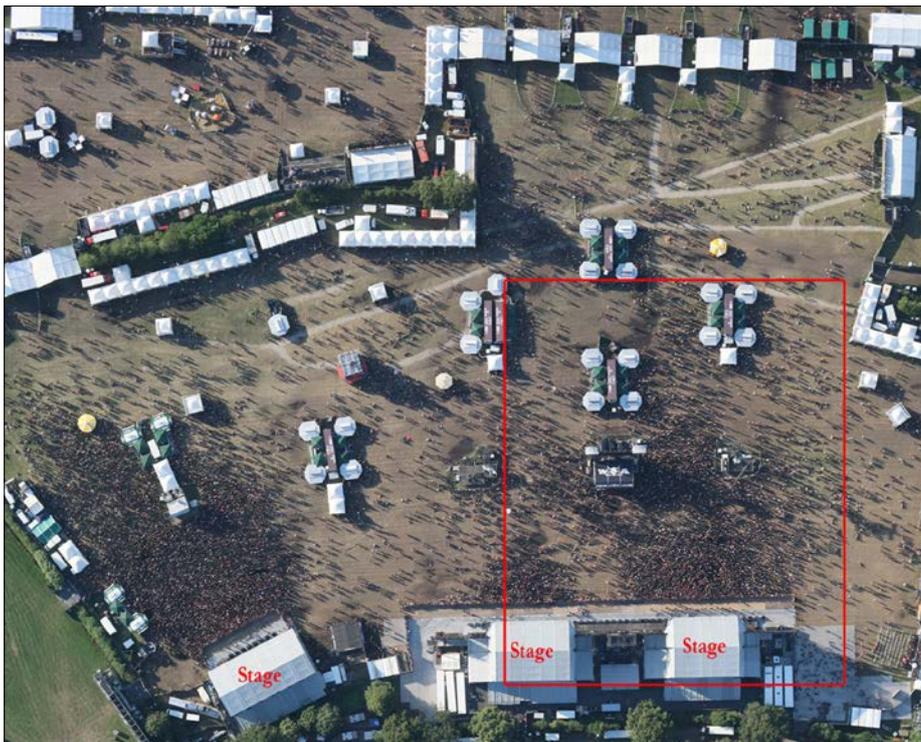
Dieser Beitrag gibt einen Überblick über Forschungsarbeiten in der Geoinformationsfusion und zeigt resultierende Möglichkeiten auf. Der Mehrwert für zeitkritische Anwendungen wird dabei an zwei beispielhaften Anwendungsfällen erläutert.

**2 DIE ANWENDUNGSFÄLLE**

In diesem Beitrag werden zwei Anwendungsfälle zu unterschiedlichen Facetten der Geoinformatik präsentiert. Beide Anwendungsfälle skizzieren Aspekte im Kontext der Sicherheit bei Großveranstaltungen, um Tragödien, wie bei der Love-Parade 2010 in Duisburg (Diehl et al. 2010), vorzubeugen. Die Grundlage zur Konzeption der Anwendungen liefert dabei das Projekt VABENE<sup>1</sup> des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) zur Aufnahme und Verarbeitung von luftgestützten Fernerkundungsszenen in naher Echtzeit. Hierbei werden Fernerkundungsdaten luftgestützt aufgenommen, an Bord vorprozessiert und



Abbildung 1: Schrägbildaufnahme vom Marktplatz in Osnabrück (Hillen 2015)



**Abbildung 2:** Luftbildaufnahme einer Befliegung während des Musikfestivals „Wacken 2013“ (aufgenommen vom DLR; Hillen 2015)

über Außenantennen an Bodenstationen gesendet (Kurz et al. 2012), sodass die Daten bereits kurz nach der Aufnahme am Boden zur Weiterverarbeitung zur Verfügung stehen. Die Planung mit tatsächlichen Echtzeit-Fernerkundungsdaten im Rahmen der nachfolgend skizzierten prototypischen Anwendungsfälle beschreibt somit keine Utopie, sondern ist durchaus bereits in Ansätzen leistbar.

## 2.1 ANWENDUNGSFALL 1: AGENTENBASIERTE MODELLIERUNG

Bei der Beschreibung eines komplexen Systems durch ein agentenbasiertes Modell werden sogenannte Agenten als Modellierungseinheiten verwendet. Diese Agenten können auf die momentane Situation, anhand von festgelegten Verhaltensregeln, reagieren. Dabei können unterschiedliche Agenten miteinander interagieren, Informationen aus der Umgebung in die Entscheidungsprozesse integrieren und so neue Verhaltensweisen entwickeln (Bonabeau 2002, Johnston 2013). Die agentenbasierte Modellierung liefert somit die Möglichkeit, reale Phänomene, in besonderer Weise Dynamiken von Menschen, Autos oder anderen Individuen, realitätsnah abzubilden. Heutzutage finden sich agenten-

basierte Modelle in vielen Anwendungsbereichen wieder, wie dem Evakuierungsmanagement (Chen et al. 2006), der Simulation von Verkehrs- und Besucherströmen (Baydar 2003, Lodhi et al. 2012) sowie der Sozialsimulation (Helbing 2012). Klügl & Rindsfuser (2007) unterstreichen das große Potenzial von agentenbasierten Modellen speziell für die Fußgängersimulation.

Im ersten Anwendungsfall wird ein solches agentenbasiertes Modell aufgebaut, mit dem Ziel, die Bewegung einer einzelnen Person basierend auf fusionierten Geoinformationen aus Smartphone-Sensordaten und Fernerkundungsdaten zu schätzen. Der Kontext ist dabei die Übertragung dieses geschätzten Bewegungsverlaufs der Einzelperson auf die umgebende Menschenmenge. Die Grundannahme ist, dass sich Einzelpersonen nicht (oder nur schwer) entgegen der eigentlichen Flussrichtung einer dichten Menschenmenge bewegen können. Untersucht werden daher zunächst zwei wesentliche Aspekte:

- wie exakt lässt sich die Bewegung von Einzelpersonen auf Grundlage fusionierter Geoinformationen vorhersagen und
- welche Rolle spielt der Echtzeit-Charakter der Information für diesen konkreten Fall?

Zur Bearbeitung dieser Forschungsfragen wurden Testaufnahmen auf dem Marktplatz in Osnabrück durchgeführt. Um Luftbildaufnahmen zu simulieren, wurde eine handelsübliche Spiegelreflexkamera auf einem Kirchturm installiert, die sekundlich Schrägaufnahmen des gesamten Marktplatzes liefert (siehe Abb. 1). Gleichzeitig wurden am Boden mithilfe einer Smartphone-App Bewegungsdaten von einer Testperson für einen bestimmten Laufweg aufgezeichnet.

Ziel der Modellierung soll es sein, die Richtung und die Geschwindigkeit der Testperson am Boden, basierend auf den Smartphone-Messungen, mit Positionsinformationen der übrigen Passanten im Testgebiet, die aus den Kamerabildern extrahiert wurden, zu kombinieren, um so den Weg der Testperson schätzen zu können. Verglichen und validiert wird diese Schätzung mit dem tatsächlichen Laufweg der Testperson, die ebenfalls aus den Kamerabildern extrahiert werden kann.

## 2.2 ANWENDUNGSFALL 2: LEAST-COST-NAVIGATION

Der zweite Anwendungsfall skizziert das Potenzial von fusionierten Geoinformationen für räumliche Analysen am Beispiel von Schätzungen der Menschendichte bei Großveranstaltungen, ebenfalls auf Grundlage von luftgestützten Fernerkundungsbildern und Smartphone-Bewegungsdaten. Grundlage hierfür sind Luftbilder und Smartphone-Messungen vom Musikfestival „Wacken 2013“ (siehe Abb. 2). Alle nachfolgend präsentierten Analysen wurden für den rot markierten Bereich in Abbildung 2, also der Bereich vor zwei Musikbühnen, durchgeführt.

Ziel dieses Anwendungsfalles ist es zu demonstrieren, wie die Menschendichteinformation aus beiden verwendeten Datenquellen zusammengebracht, sinnvoll ergänzt und für typische räumliche Analysen verwendet werden kann. Die fusionierte Datenbasis soll dabei benutzt werden, um eine Route von A nach B auf Grundlage der aktuell vorherrschenden Menschendichte zu berechnen. Die Fernerkundungsdaten liefern in diesem Fall für jeden Überflug einen Gesamtüberblick über den Veranstaltungsort, während die Smartphone-Daten eine punktuelle Verbesserung und Aktualisierung der Daten in der Zeit ermöglichen, in der das Flugzeug keine Bilder über dem Veranstaltungsort aufnehmen kann.

Die Anwendungsmöglichkeiten, die durch ein solches System ermöglicht werden könnten, sind z. B. „Flucht-Apps“, die einem Benutzer (beispielweise im Panikfall oder bei Dehydratation) den schnellsten Weg aus einer Menschenmenge weisen können, oder generelle Navigationsanwendungen zu einem Punkt von Interesse (beispielweise einem Getränkestand, den Parkplätzen oder – im Fall von Rettungskräften – einen Unglücksort, der schnell erreicht werden muss).

### 3 METHODIK

#### 3.1 ANWENDUNGSFALL 1: MODELLIERUNG VON PERSONEN- BEWEGUNG BASIEREND AUF SMARTPHONE-SENSORDATEN UND FERNERKUNDUNGSBILDERN

Die agentenbasierte Modellierung für Anwendungsfall 1 wurde mit der Open-Source-Software Agent Analyst<sup>2</sup> durchgeführt, die in ArcGIS integriert ist. Alle GIS-Layer können somit für die Modellierung, sowohl als Eingabedaten als auch für die Ausgabe, genutzt werden. Abbildung 3 zeigt die Ausgangslage für das agentenbasierte Modell in ArcGIS. Der rote Stern unten links in der Abbildung markiert den Startpunkt des Agenten (hier: die zu modellierende Testperson), die Zielflagge oben rechts markiert entsprechend das Ziel. Die grünen Punkte sind die aus den Bilddaten gewonnenen Evaluierungsdaten und symbolisieren den tatsächlichen Weg der Testperson, also das „bestmögliche“ Ergebnis. Die blauen Quadrate visualisieren die absoluten Positionen der Smartphone-Messungen der Testperson. Man erkennt eine hohe Positionsungenauigkeit im Vergleich zum tatsächlichen Weg der Testperson, die auf die GPS-Fehleranfälligkeit in Gebieten mit höheren Häusern zurückzuführen ist. Für jeden Smartphone-Messpunkt sind die momentane Geschwindigkeit sowie die momentane Ausrichtung nach der Himmelsrichtung hinterlegt. Die Personen-Symbole zeigen die Positionen der übrigen Passanten im Testgebiet, die ebenfalls aus den Kamerabildern entnommen wurden. Gestreifte Bereiche stellen Hindernisse im Testgebiet dar (in diesem Fall Essens- und Getränkestände sowie Musikbühnen), die modellseitig nicht vom Agenten beschritten werden können. Darüber hinaus definiert der graue Hinter-

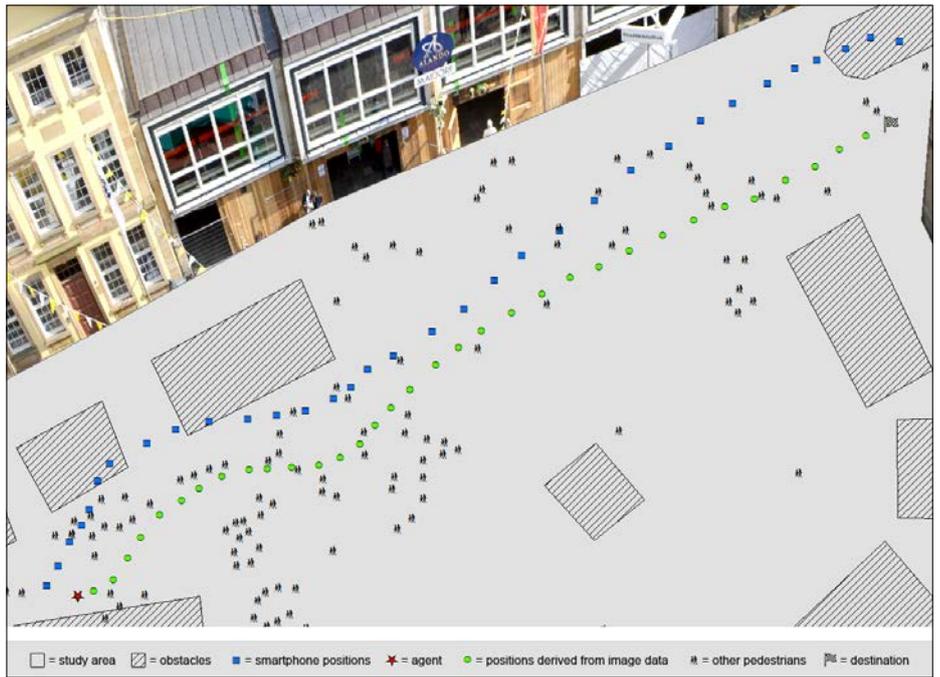


Abbildung 3: Ausgangslage für die agentenbasierte Modellierung mit Agent Analyst (Hillen et al. 2014)

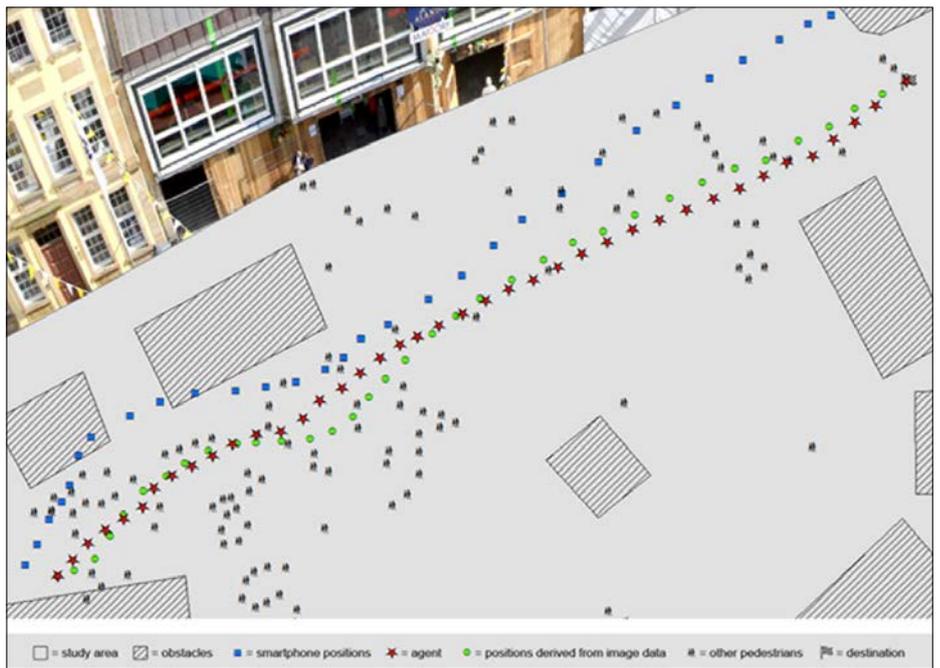


Abbildung 4: Modellierungsergebnis mit einer Integrationsfrequenz für neue Passantenpositionen von 5 Sekunden (Hillen et al. 2014)

grund das eigentliche Testgebiet und somit den generellen Bewegungsraum des Agenten.

Die simple Grundannahme des agentenbasierten Modells ist, dass der Agent das vorgegebene Ziel auf dem direkten Weg erreichen möchte. Die direkte Linie zum Zielpunkt wird somit als grundlegende Bewegungsrichtung für den Agenten vorausgesetzt. Zusätzlich fließt die Bewe-

gungsrichtung der Smartphone-Messungen in die Berechnung des jeweils nächsten Schritts mit ein. Durch diese Definitionen wird jeder Schritt des Agenten für eine vorgegebene Zeiteinheit (hier jede Sekunde), unter Verwendung der gemessenen momentanen Geschwindigkeit, berechnet. Bei gegebener Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung ist der einzige fehlende Faktor, der den Weg des Agenten beein-

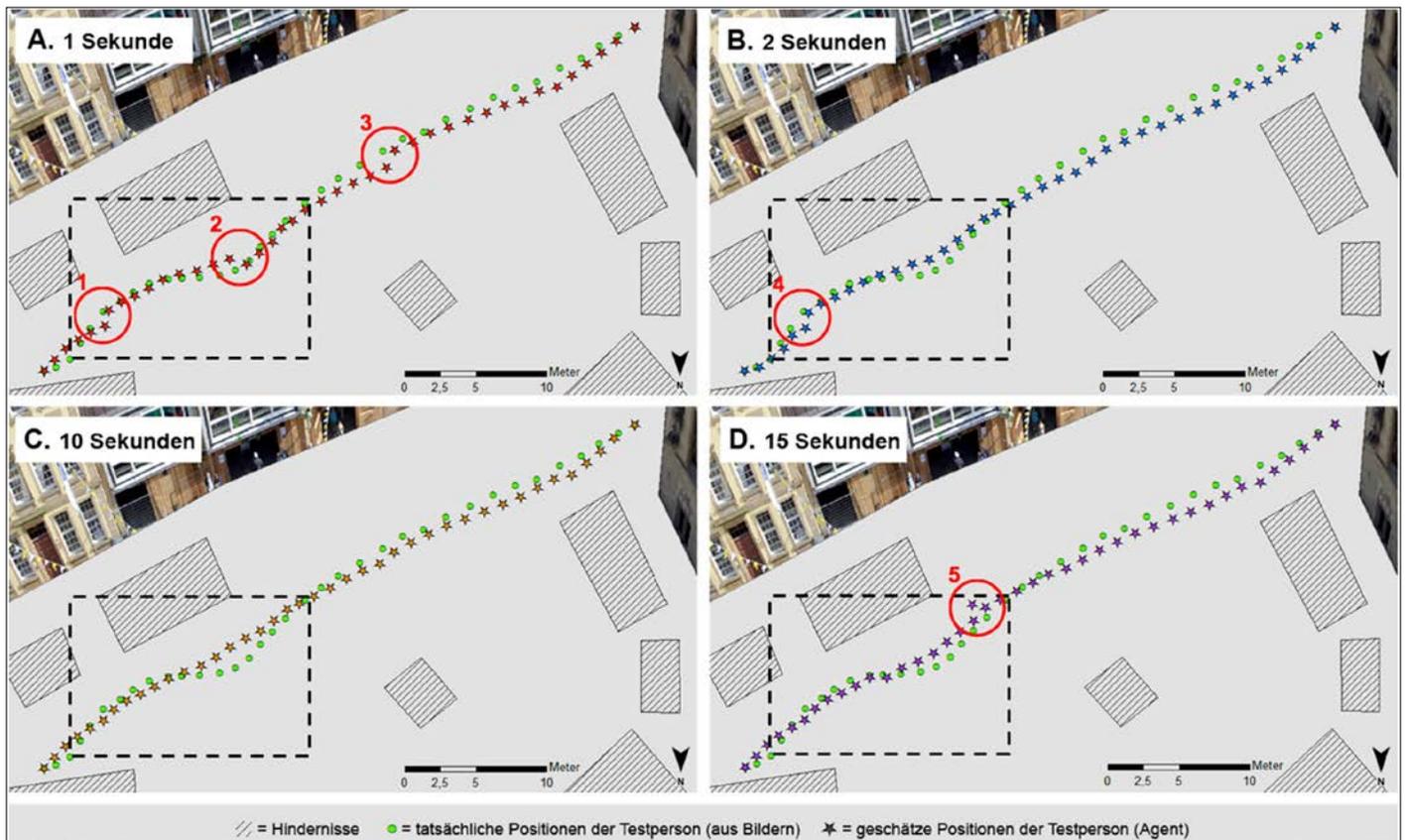


Abbildung 5: Vergleich der Modellierungsergebnisse mit unterschiedlichen Integrationsfrequenzen für die Passantenpositionen: A) 1 Sekunde, B) 2 Sekunden, C) 10 Sekunden, D) 15 Sekunden. Markante Punkte (Highlights) sind mit roten Kreisen markiert und nummeriert (Hillen & Höfle 2014).

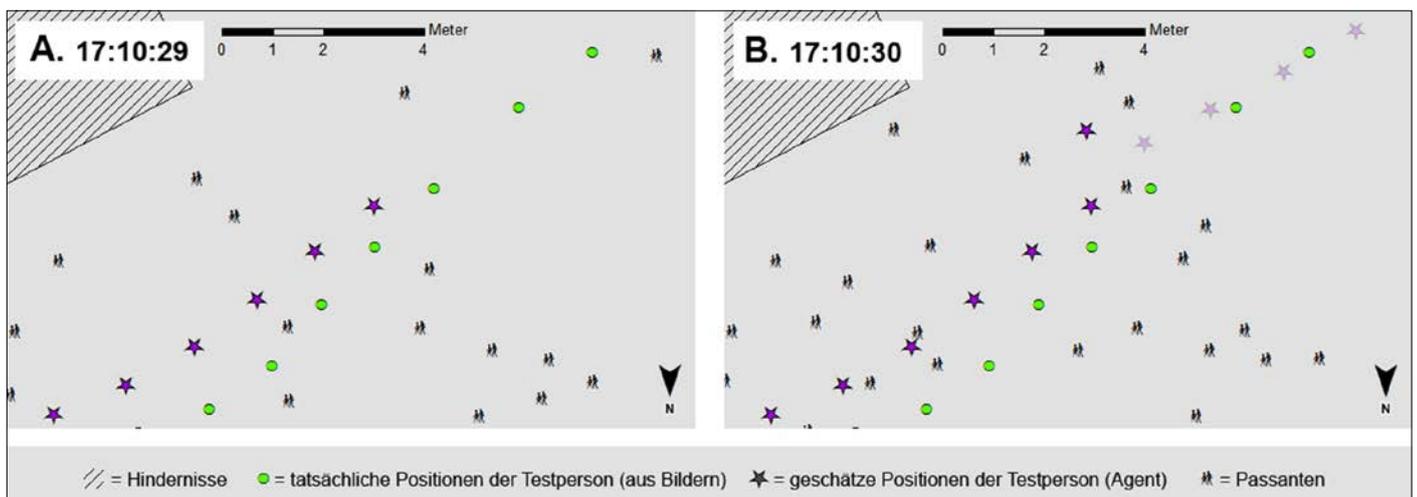


Abbildung 6: Highlight 5 aus Abbildung 5 in einer vergrößerten und detaillierten Darstellung zum Zeitpunkt vor (A) und nach der Integration neuer Passantenpositionen (B) (Hillen & Höfle 2014)

flussen kann, eine Kollision mit anderen Passanten im Testgebiet. Um eine solche Kollision zu vermeiden, definiert das Modell eine „Komfortzone“ von 50 cm um den Agenten, in der sich kein anderer Passant befinden darf. Wenn diese Komfortzone nach der Berechnung des jeweils nächsten Schritts verletzt wird, verändert der Agent seine Bewegungsrichtung entsprechend, um einer Kollision aus dem Weg zu

gehen. Die Modellierung endet, nachdem der Agent den Zielpunkt mit dem nächsten Schritt erreichen kann.

Für einen Vergleich des Einflusses der Echtzeit-Charakteristik auf die Modellierungsergebnisse kann die Frequenz, mit der neue Positionsinformationen der Passanten in das Modell geladen werden, frei angepasst werden. In diesem Beispiel werden Modelle mit 1 und 2 Sekunden (Echtzeit)

sowie mit 5, 10 und 15 Sekunden (nahe Echtzeit) gerechnet.

### 3.2 ANWENDUNGSFALL 2: LEAST-COST-NAVIGATION FÜR DEN EINSATZ BEI GROSSVERAN- STALTUNGEN

Die Methodik für den zweiten Anwendungsfall umfasst im wesentlichen drei Aspekte:

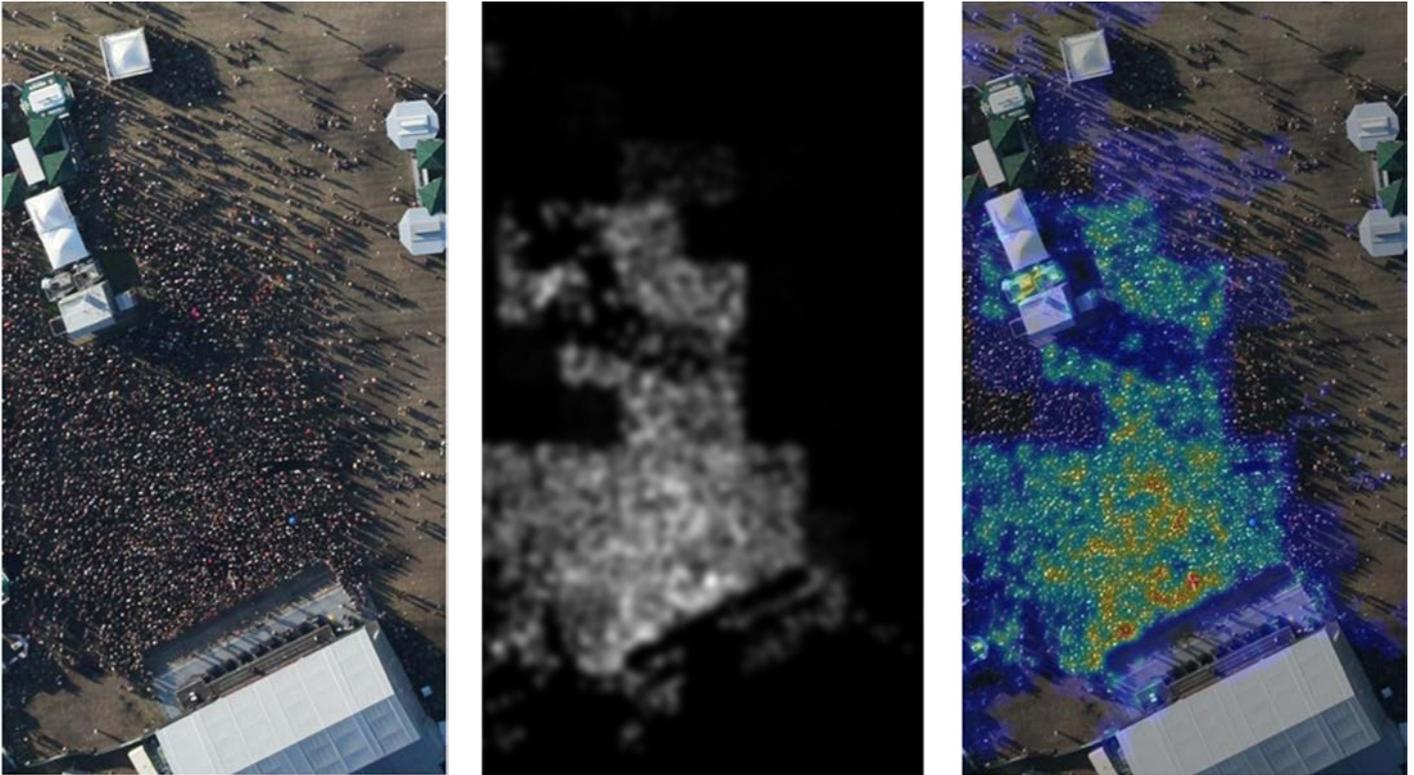


Abbildung 7: Ein Ausschnitt der unprozessierten Luftbilddaten (links), des berechneten Menshendichtebilds (Mitte) sowie einer Kompositdarstellung (rechts) (Hillen et al. 2015)

- 1) die Ableitung der Menshendichte aus Luftbildern,
- 2) die Ableitung der Menshendichte aus Smartphone-Daten und
- 3) die Fusionierung der Daten zu einer kombinierten Datenbasis.

Zur Ableitung der Menshendichte aus Luftbildern (1) wurde ein Ansatz entwickelt, der Bildausschnitte einer konstanten Größe mit einem Gabor-Filter faltet und anschließend die Antworten einer Reihe von verschalteten Filteroperationen für den Eingabevektor einer Support Vector Machine verwendet. Implementierungsdetails können aus Meynberg & Kusch (2013) entnommen werden.

Die Ableitung der Menshendichte aus Smartphone-Messungen (2) basiert auf empirischen Untersuchungen von Weidmann (1992), die eine Verbindung zwischen lokaler Geschwindigkeit und der lokalen Menshendichte beschreiben. Aus diesem Zusammenhang kann eine allgemeine Formel abgeleitet werden, um die Dichte (D) aus den Smartphone-Geschwindigkeiten ( $v_i$ ) zu errechnen (Hillen et al. 2015):

$$D = \frac{1.913}{\ln(1.34 - v_i) - 0.646929}$$

Die Informationsfusion (3) wurde rasterbasiert mit der Software GRASS GIS durchgeführt. Zur Reklassifizierung der Werte wurden erneut empirische Werte von Fruin (1981) herangezogen. Definiert werden in dieser Arbeit Werte in der Einheit Personen pro Quadratmeter ( $p/m^2$ ), in denen eine normale Bewegung bzw. gar keine Bewegung möglich ist. Diese dienen als Grundlage für die Grenzwerte der abzuleitenden Navigationskosten und somit für die Routenberechnung auf Grundlage der geringsten Kosten mit GRASS-GIS-Funktionalitäten.

Ausführliche Details zu den drei genannten Schritten der Methodik können Hillen et al. (2015) entnommen werden.

## 4 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

### 4.1 ANWENDUNGSFALL 1: ECHTER MEHRWERT DURCH ECHTZEIT-GEOINFORMATIONSFUSION?

Zur Bewertung der generellen Modellgüte wurde zunächst ein Modell mit einer Integrationsfrequenz für die Passantenpositionen von 5 Sekunden gerechnet. Das Ergebnis ist in Abbildung 4 dargestellt. Die jeweiligen Modellierungsschritte des Agenten

werden durch rote Sterne symbolisiert. Im Vergleich zu den gemessenen Positionen mit dem Smartphone (blaue Quadrate) besteht bereits eine bessere Annäherung an den tatsächlichen Weg der Testperson (grüne Punkte), wenngleich markante Bewegungsverläufe weiterhin nicht korrekt abgebildet sind. Generell war ein solches Ergebnis aufgrund der engen und strikten Modellvorgaben bereits zu erwarten.

Deutlichere Unterschiede sind erkennbar beim Vergleich der Modellierungsergebnisse mit unterschiedlichen Integrationsfrequenzen. Abbildung 5 zeigt den tatsächlichen Wegverlauf der Testperson zusammen mit den Modellierungsergebnissen mit Frequenzen von 1 Sekunde (A), 2 Sekunden (B), 10 Sekunden (C) und 15 Sekunden (D). Alle Ergebnisse weisen in ihren grundsätzlichen Verläufen hohe Ähnlichkeiten auf – was abermals auf die strikten Modellannahmen zurückzuführen ist –, dennoch lassen sich im Detail einige Unterschiede erkennen. Markante Punkte (Highlights) wurden durch rote Kreise in Abbildung 5 gekennzeichnet.

Highlights 1-3 im Modellierungsergebnis A zeigen harte Sprünge und Korrekturen in der Modellierung. Diese sind jedoch

immer korrigierender Natur, sodass sich der geschätzte Verlauf dem tatsächlichen Verlauf anpasst. Beim Modellierungsergebnis B existiert mit Highlight 4 nur noch das Äquivalent zu Highlight 1, alle anderen Korrekturen sind nicht existent und wurden „geglättet“. Somit ist auch rechnerisch Modellierungsergebnis A geringfügig besser (arithmetisches Mittel: 0,49 m / Standardabweichung: 0,24 m) als Modellierungsergebnis B (arithmetisches Mittel: 0,52 m / Standardabweichung: 0,26 m) hinsichtlich des Abstands zu den tatsächlichen Positionen der Testperson.

Bei den Modellierungsergebnissen C und D sind keine korrigierenden Sprünge erkennbar und die Verläufe wirken insgesamt deutlich homogener. Lediglich ein Sprung – markiert als Highlight 5 – im Modellierungsverlauf D ist deutlich erkennbar und ist offensichtlich ein Fehler.

Abbildung 6 zeigt eine detaillierte und vergrößerte Ansicht dieses Fehlers vor (A) und nach (B) dem Laden neuer Positionsinformationen der Passanten. Es ist erkennbar, dass vor der Aktualisierung keine Hindernisse in Form von Passanten den Weg des Agenten behindern. Erst nach der Integration neuer Informationen erscheint ein Passant vor dem Agenten, sodass der Agent reagieren und seinen nächsten Schritt deutlich korrigieren muss. Bei ge-

nauer Betrachtung stellt man fest, dass solche Fehlerklassen gänzlich zufallsbedingt sind. Wäre der Agent lediglich eine Sekunde später gestartet oder die Aktualisierung eine Sekunde später durchgeführt worden, hätte der Agent den Passanten bereits passiert und der Fehler im Bewegungsverlauf wäre nicht existent. Betrachtet man sich die Modellierungsergebnisse A aus Abbildung 5 für den Bereich von Highlight 5, lässt sich feststellen, dass der Agent in diesem Modell bereits frühzeitig, aufgrund der stetig aktuellen Informationen, einen marginal anderen Weg einschlägt und somit nicht mit solchen Fehlern konfrontiert ist. Geoinformationen in Echtzeit sind somit in diesem konkreten zeitkritischen Anwendungsfall von hoher Wichtigkeit, da zum einen ein realistischerer Bewegungsverlauf im Vergleich zum tatsächlichen Verlauf der Testperson resultiert und zum anderen Fehler in den Modellierungsergebnissen vermieden werden können.

#### 4.2 ANWENDUNGSFALL 2:

##### MEHRERE DATENQUELLEN ZUR SCHÄTZUNG DER MENSCHENDICHTE

Abbildung 7 zeigt einen Ausschnitt aus den Luftbilddaten (links) und zugehörige Ergebnisse zur Schätzung der Menschendichte in Graustufen (Mitte), von hoher

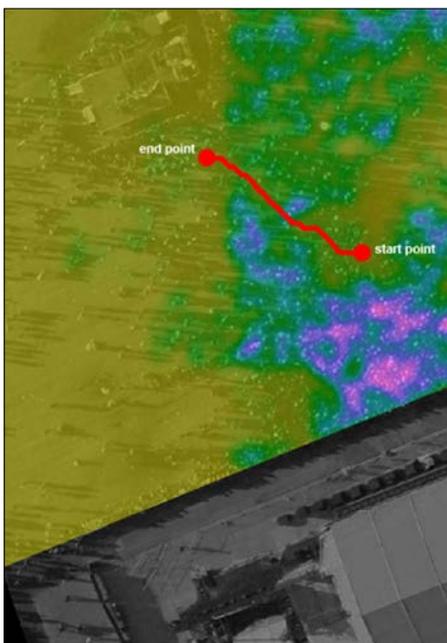
Dichte (weiß) bis geringer Dichte (schwarz). Für einen besseren visuellen Eindruck wurde zudem eine Kompositdarstellung (rechts) aus der Menschendichteinformation (von gering in blau bis hoch in rot) mit unterliegendem Originalbild erstellt.

Zur Bestimmung einer Route von A nach B muss zunächst in GRASS GIS ein Kostenlayer basierend auf dem Menschendichtebild erstellt werden. Anschließend kann auf Grundlage dieses Kostenlayers die Berechnung der Route mit den geringsten Kosten durchgeführt werden. Abbildung 8 zeigt das Ergebnis einer beispielhaften Berechnung.

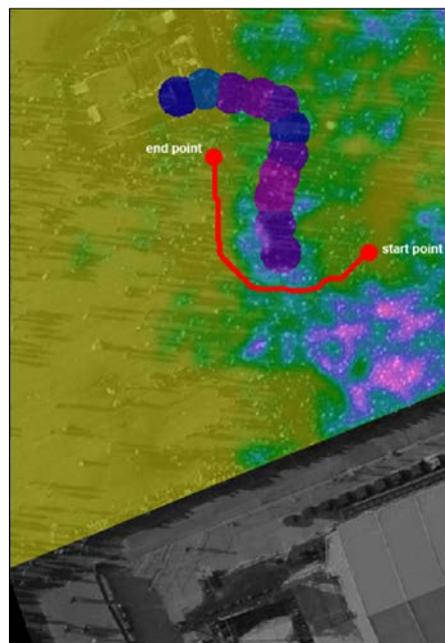
Um den Vorteil der fusionierten und durch Smartphone-Daten aktualisierten Datenbasis zu verdeutlichen, wurden beide Menschendichteinformationen zu einem neuen Rasterbild zusammengeführt. Abbildung 9 zeigt das Ergebnis der Neuberechnung mit gleichem Start und Ziel auf der veränderten Datenbasis. Es ist deutlich erkennbar, dass sich die Ausgangslage in der Menschenmenge seit dem letzten Überflug geändert hat. Die Smartphone-Daten zeigen eine deutlich erhöhte Menschendichte im Gebiet des ursprünglichen Routenverlaufs. Die Route mit den geringsten Kosten passt sich dementsprechend den neuen Gegebenheiten an und empfiehlt einen anderen Weg.

#### 5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die skizzierten, prototypischen Anwendungsfälle haben einen Überblick über Möglichkeiten und den Mehrwert von Geoinformationsfusion, gerade für zeitkritische Geo-Anwendungen, verdeutlicht. Anwendungsfall 1 hat gezeigt, dass sich die Bewegung von Einzelpersonen durch die Kombination von Fernerkundungsbildern und Smartphone-Bewegungsdaten modellbasiert schätzen lässt. Zwar sind die Modellannahmen so strikt, dass keine großen Abweichungen möglich waren, dennoch ähnelten die Modellierungsergebnisse dem tatsächlichen Bewegungsverlauf der Testperson weitgehend. Besonders deutlich wurde in der Bearbeitung dieses Anwendungsfalles die wichtige Rolle von Echtzeit-Geoinformationen. Bereits die Verringerung der Integrationsfrequenz aktueller Geoinformationen in den Bereich der nahen Echtzeit (z. B. 1,5 Sekunden) führte teils zu Fehlern in den Modellergebnissen.



**Abbildung 8:** Berechnung einer Geringsten-Kosten-Route vom Start- zum Endpunkt basierend auf dem abgeleiteten Menschendichtebild (Hillen et al. 2015)



**Abbildung 9:** Berechnung einer Geringsten-Kosten-Route vom Start- zum Endpunkt basierend auf der fusionierten Menschendichte aus Luftbild und Smartphone-Daten (Hillen et al. 2015)

Mit Anwendungsfall 2 konnte der Mehrwert der Geoinformationsfusion hinsichtlich einer aktuellen Datenbasis für räumliche Funktionen, am Beispiel von Menshendichteinformationen, demonstriert werden. Luftgestützte Fernerkundungsbilder dienen dabei zur Ableitung von großflächigen Informationen zu Menshendichten, während die Smartphone-Bewegungsdaten die Informationsbasis punktuell aktualisieren konnte. Die skizzierten Anwendungsmöglichkeiten dieses Ansatzes – insbesondere die Navigation von Rettungs- und Sicherheitskräften – können die Sicherheit für Großveranstaltungen entscheidend verbessern.

Zur tatsächlichen Realisierung beider Anwendungsfälle in Echtzeit bei Großveranstaltungen bedarf es weiterer Forschung und Entwicklung sowie einer größeren Ver-

fügbarekeit von Echtzeit-Informationen und zugehörigen Auswertemethoden. Es ist absehbar, dass zukünftig der Anteil von Geoinformationen, die in Echtzeit (oder naher Echtzeit) zur Verfügung stehen, weiter steigen wird. Bereits heute gibt es Anwendungen zur Schiffsdetektion und zur Erkennung von Ölverschmutzungen in den Weltmeeren in naher Echtzeit, die auf Satellitenbilddatenauswertungen beruhen. Ebenso werden hochvolumige Geodaten, wie beispielsweise Laserscannerdaten, einfacher zu erheben (z. B. UAV-gestützt) und teils in (naher) Echtzeit verfügbar sein (z. B. 3D-Daten aus Smartphone-Stereokameras). Zur Verwertung und effektiven Nutzbarmachung dieser künftigen Datenquellen für zeitkritische Geo-Anwendungen kann die Geoinformationsfusion eine essenzielle Rolle einnehmen.

<sup>1</sup> <http://www.dlr.de/vabene/>

<sup>2</sup> <http://resources.arcgis.com/en/help/agent-analyst/>

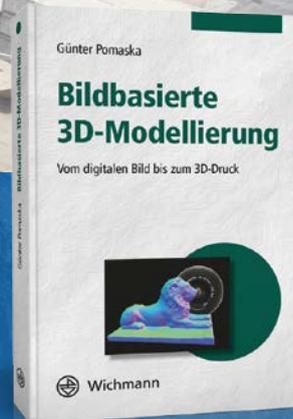


Technikwissen punktgenau:

## Nutzen Sie die Vorteile der Dreidimensionalität für Ihr Projekt!

Vom Replikat einer Statue bis zur Rekonstruktion eines Bauwerks – umfassende Betrachtung der Anwendungsmöglichkeiten von bildbasierter 3D-Modellierung im Geo-, Bau- und Planungsbereich. Inklusive kompaktem Einstieg in die Programmierung mit Python.

Preisänderungen und Irrtümer vorbehalten. Das Kombiangebot bestehend aus Buch und E-Book ist ausschließlich auf [www.vde-verlag.de](http://www.vde-verlag.de) erhältlich. Dieses Buch ist für das Studium geeignet.



2016  
252 Seiten  
49,- € (Buch/E-Book)  
68,60 € (Kombi)



Bestellen Sie jetzt: (030) 34 80 01-222 oder [www.vde-verlag.de/160985](http://www.vde-verlag.de/160985)



## Literatur

- Baydar, C. (2003): The role of special agents in today's world: agent-based modeling and simulation of store performance for personalized pricing. In: Proceedings of the 35th conference on Winter simulation: driving innovation, S. 1759-1764.
- Bonabeau, E. (2002): Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. In: Proceedings of the National Academy of Sciences, 99 (Suppl. 3), S. 7280-7287.
- Chen, X.; Meaker, J. W.; Zhan, F. B. (2006): Agent-based modeling and analysis of hurricane evacuation procedures for the Florida Keys. In: Natural Hazards, 38 (3), S. 321-338.
- Del Grande, N. (1990): Sensor fusion methodology for remote detection of buried land mines. In: Proceedings of the 3rd National Symposium on Sensor Fusion, Orlando, FL, USA.
- Diehl, J.; Gathmann, F.; Hans, B.; Jüttner, J. (2010): Analysis of the Love Parade Tragedy: The Facts Behind the Duisburg Disaster. <http://www.spiegel.de/international/germany/analysis-of-the-love-parade-tragedy-the-facts-behind-the-duisburg-disaster-a-708876.html>, Zugriff 01/2017.
- Ehlers, M. (1991): Multisensor image fusion techniques in remote sensing. In: ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 46 (1), S. 19-30.
- Fruin, J. (1981): Crowd Disasters – A Systems Evaluation of Causes and Countermeasures. In: U.S. National Bureau of Standards, Pub. NBSIR 81-3261.
- Gartner (2015): Gartner Says Smartphone Sales Surpassed One Billion Units in 2014. <http://www.gartner.com/newsroom/id/2996817>, Zugriff 01/2017.
- Helbing, D. (2012): Social self-organization: Agent-based simulations and experiments to study emergent social behavior. Springer, Berlin/Heidelberg/New York.
- Hillen, F. (2015): Geo-Information Fusion for Time-Critical Geo-Applications. Dissertation, Universität Osnabrück.
- Hillen, F.; Meynberg, O.; Höfle, B. (2015): Routing in Dense Human Crowds Using Smartphone Movement Data and Optical Aerial Imagery. In: ISPRS International Journal of Geo-Information, 4 (2), S. 974-998.
- Hillen, F.; Höfle, B.; Ehlers, M.; Reinartz, P. (2014): Information Fusion Infrastructure for Remote Sensing and In-Situ Sensor Data to Model People Dynamics. In: International Journal of Image and Data Fusion, 5 (1), S. 54-69.
- Hillen, F.; Höfle, B. (2014): Fast-Echtzeit vs. Echtzeit – die Auswirkungen von Echtzeit-Datenintegration am Beispiel einer agentenbasierten Modellierung im GIS. In: Strobl, J. et al. (Hrsg.): Angewandte Geoinformatik 2014. Wichmann, Berlin/Offenbach, S. 658-663.
- Johnston, K. M. (2013): Agent Analyst: Agent-Based Modeling in ArcGIS. Esri Press, Redlands, CA, USA.
- Klonus, S.; Ehlers, M. (2009): Performance of evaluation methods in image fusion. In: Proceedings of the 12th international conference on information fusion. Seattle, WA.
- Klügl, F.; Rindsfuser, G. (2007): Large-scale agent-based pedestrian simulation. In: Lecture Notes in Computer Science (Multiagent System Technologies), 4687. Springer, Berlin/Heidelberg/New York, S. 145-156.
- Kurz, F.; Türmer, S.; Meynberg, O.; Rosenbaum, D.; Runge, H.; Reinartz, P.; Leitloff, J. (2012): Low-cost optical Camera Systems for realtime Mapping Applications. In: Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation (PFG), S. 159-176.
- Lodhi, A.; Dhamdhere, A.; Dovrolis, C. (2012): GENESIS: An agent-based model of interdomain network formation, traffic flow and economics. In: INFOCOM, 2012, Proceedings IEEE, S. 1197-1205.
- Meynberg, O.; Kusch, G. (2013): Airborne Crowd Density Estimation. In: ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 1 (3), S. 49-54.
- Moravec, H. P. (1988): Sensor fusion in certainty grids for mobile robots. In: AI magazine, 9 (2), S. 61.
- PR Newswire (2015): Wearable Sensor Market – Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends and Forecast, 2014 – 2020. <http://www.prnewswire.com/news-releases/wearable-sensor-market-global-industry-analysis-size-share-growth-trends-and-forecast-2014-2020-300113078.html>, Zugriff 01/2017.
- Schall, G.; Wagner, D.; Reitmayr, G.; Taichmann, E.; Wieser, M.; Schmalstieg, D.; Hofmann-Wellenhof, B. (2009): Global pose estimation using multi-sensor fusion for outdoor Augmented Reality. In: Mixed and Augmented Reality, 2009 (ISMAR 2009), 8th IEEE International Symposium on, S. 153-162.
- Waltz, E. L.; Llinas, J. (1990): Multisensor Data Fusion. Artech House, Norwood, MA, USA.
- Weidmann, U. (1992): Transporttechnik der Fußgänger. Schriftenreihe Institute for Transport Planning and Systems (IVT), 90. Zürich.