



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Ausarbeitung Anwendungen 1 WiSe 2010/11

Mariusz Baldowski

Entwicklung eines 3D-Geoinformationssystem für
Gefahrensituationen im In- und Outdoorbereich
im Rahmen von WALK

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	3
2 Analyse	4
2.1 Gesamtsystem	4
2.1.1 Informationsschichten	5
2.2 Agentensystem	6
2.3 Visualisierung	6
2.4 RiMEA	7
2.4.1 Anforderungen	7
2.4.2 Dauern	8
2.4.3 Szenarien	8
3 Vergleichbare Arbeiten	9
3.1 Building Information Model und Industry Foundation Class	9
3.1.1 BIMServer	10
3.2 Delta 3D	10
3.2.1 Komponenten	10
3.3 Massive	11
4 Forschungsaspekte und Risiken	12
4.1 Risikofaktoren	12
5 Ausblick	12
Literatur	13

1 Einführung

Massenpaniken bei Großereignissen wie zum Beispiel auf der Love Parade in Duisburg (21 Tote) sind katastrophal und fordern viele Opfer. Dabei sind nicht nur unglückliche Umstände und deren Verkettung Ursache dieser Massenpaniken, sondern oft das Fehlverhalten von Sicherheitskräften vor Ort während oder vor der Panik. Des Weiteren schätzen Veranstalter die geographischen Gegebenheiten im Zusammenhang mit der Menge an erwarteten Personen falsch ein, was zu einer massiven Überfüllung kritischer Bereiche, wie Engpassagen oder Treppen, führt und so Massenpaniken und Verwirrung auslöst. Mit der heutigen Technologie ist es jedoch möglich, diese Massenpaniken im Vorfeld zu analysieren und aus den Erkenntnissen Informationen zu sammeln, um weitere Katastrophen präventativ zu verhindern oder abzuschwächen.

Das Projekt WALK an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg befasst sich mit der Entwicklung von Komponenten, welche für die zukünftige Sicherheitsplanung eingesetzt werden können, um die kritischen Bereiche und Passagen der Gegebenheiten ausfindig zu machen und die Evakuierungspläne entsprechend anzupassen. Dabei sollen sich die Gefahrensituationen nicht nur um Gebäude und Menschenmassen drehen, sondern es sollen zukünftig auch Umwelteinflüsse in die Simulation mit einbezogen werden, wie zum Beispiel Wasserhochstände und Deichbrüche.

Die Agenten in dem Projekt Walk sollen nicht wie in anderen Simulationen als Partikelsysteme oder Flüssigkeitsmodelle simuliert werden, sondern mithilfe eines Multiagentensystems. Dabei spielen die Individualität, persönliche Eigenschaften und emotionale bzw. psychologische Verhaltensweisen der Personen eine tragende Rolle.

Um die komplexen Komponenten miteinander zu verbinden, wird ein dreidimensionales Geoinformationssystem benötigt. Viele Ereignisse lassen sich in einer zweidimensionalen Umgebung nicht korrekt simulieren und analysieren. Um statistisch relevante Angaben zu erhalten, muss eine Modelrepräsentation bezüglich der Bereiche In- und Outdoor gefunden werden, die mit den vorhandenen Daten umgehen kann. Problematisch dabei ist die Integration der verschiedenen relevanten Geodaten in das Geoinformationssystem und passende Schnittstellen zu den anderen Komponenten, damit diese mit dem Geoinformationssystem interagieren können.

Diese Ausarbeitung soll einen Einblick in die zu entwickelnde Geoinformationskomponente und die geplanten Funktionalitäten liefern. Dabei werden vergleichbare Arbeiten und Erkenntnisse zusammengetragen, um potentielle Risiken und Probleme bei der Entwicklung aufzudecken und ebenso aufzuzeigen, in welchen Bereichen noch weiter geforscht werden muss.

2 Analyse

Um relevante vergleichbare Arbeiten zu finden, müssen erst ein paar Anforderungen gefunden werden, die für die Entwicklung des Geoinformationssystems essentiell sind. Dabei ergeben sich die Anforderungen aus den Gesprächen der Beteiligten von WALK und der Analyse, wie das Gesamtsystem am Ende aussehen soll. Es geht um eine Visionsbildung und das Herauskristallisieren von notwendigen Arbeitspaketen, die für das Gesamtkonzept erforderlich sind.

2.1 Gesamtsystem

Das Geoinformationssystem gilt als die zentrale Komponente, welche Schnittstellen zur korrekten Interpretation der Gefahrensituation bereitstellt. Das gewählte Szenarium muss intern modelliert werden. Abhängig von den Eingabewerten, die das Szenarium von den anderen Komponenten bekommt, entstehen immer neue Simulationsbedingungen. Dabei muss beachtet werden, dass ein Szenarium sich aus vielen inhomogenen Informationen zusammensetzt. Diese Informationen sind meistens als Schichten verfügbar, und müssen zwecks korrekter Geolokalisation intern zusammengesetzt werden, um die nötigen Informationen zu einer bestimmten Position zu erhalten.

Um Personen zu modellieren, wird eine Agentenplattform benötigt, welche die Agenten steuert und modelliert. Eine geeignete Schnittstelle zur Kommunikation zwischen den Komponenten muss gefunden werden.

Ähnlich sieht es bei der Visualisierungskomponente aus, welche primär zum Testen der Funktionalitäten der Komponenten dient. Die Visualisierungskomponente sollte möglichst entkoppelt von dem System sein, was zur Folge hat, dass keine spezifische Schnittstelle verwendet werden kann. Erfolgsversprechend ist die Idee, eine einheitliche Schnittstelle anzubieten, die sowohl vom Agentensystem als auch von der Visualisierungskomponente (Und in Zukunft auch weitere Komponenten) verstanden wird.

Für die Repräsentation der Gebäude- und Geländedaten wird eine Modellrepräsentation im Geoinformationssystem benötigt, welche auf die Gefahrensituation anwendbar ist. Dabei muss bedacht werden, wie die Informationen in das Geoinformationssystem integriert werden. Gebäudepläne aus der realen Welt liegen in bestimmten Formaten vor, welche analysiert und auf ihre Integrität in das System geprüft werden müssen.

Ein Analysewerkzeug dient zur statistischen Auswertung der Simulation. Es kann geprüft werden, ob die zu erwarteten Ergebnisse, welche zum Beispiel aus einer Richtlinie für Entfluchtungsanlagen kommen, sich mit den Simulationsergebnissen decken. Ein Simulationsmanager verwaltet dann alle internen Informationen und stellt für die Komponenten, die mit dem Geoinformationssystem kommunizieren, eine Schnittstelle zur Verfügung.

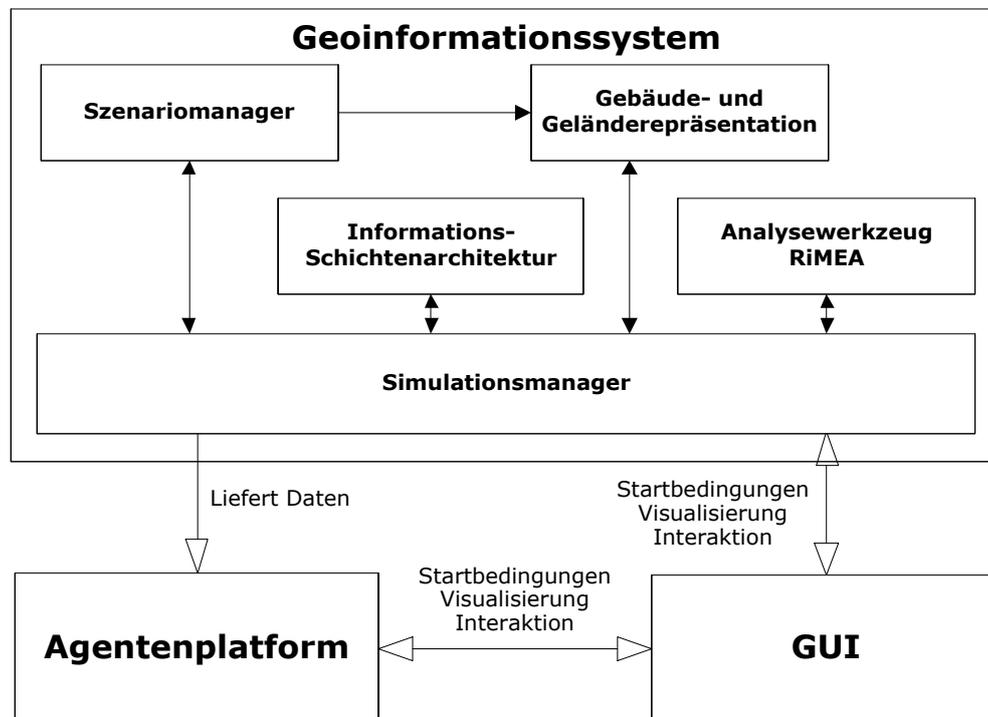


Abbildung 1: Komponenten des Geoinformationssystems

2.1.1 Informationsschichten

Ein Problem bei Gefahrensituationen sind die vielen Informationen, die zu bestimmten Zeitpunkten vorhanden sind. Gemeint sind Informationen wie Gebäudepläne, Agenten, Evakuierungs- und Rettungswege, Feuerausbreitung, Lichtquellen, Objekte und viele weitere. Diese Informationen müssen unabhängig voneinander betrachtet werden und erschweren somit die Modellbildung. Die Idee ist, eine Informationsschichtenarchitektur zu finden, welche abhängig von der eingegebenen Position und Informationsschicht eine Information zurückgibt. Dadurch könnten Zuständigkeiten auf die verschiedenen Informationsschichten verteilt werden.

Diese Informationsschichten sollen zeitlich veränderbar sein, das heißt, dass Veränderungen direkt in der Informationsschicht repräsentiert werden. Als Beispiel dient hier die Ausbreitungsfläche eines Feuers, welche anfangs als Punkt in der Schicht dargestellt wird, und mit der Zeit expandiert. Das Expansionsverhalten eines Feuers wird im Simulationsmanager definiert.

2.2 Agentensystem

Ein wichtiges Element in dem Projekt WALK ist die Modellierung von Personen als Agenten, das sogenannte Agentensystem (Agentenkomponente). Diese Komponente wird von Christian Thiel entwickelt. Ziel des Agentensystems ist es, die einzelnen Personen nicht wie in anderen Simulationen als Partikelsysteme oder Flüssigkeitsmodelle zu modellieren, sondern mithilfe eines Multiagentensystems. Dabei spielen die Individualität, persönliche Eigenschaften und emotionale bzw. psychologische Verhaltensweisen der Personen eine tragende Rolle. Mithilfe von verschiedener Sensoren können Agenten ihre Umgebung wahrnehmen und darauf reagieren.

In WALK sollen Großereignisse simuliert werden, das heißt, dass sehr viele Agenten gleichzeitig in ein gewähltes Gefahrenszenario eingepflegt werden müssen. Dabei sollen die Agenten auf mehrere Server verteilt und repliziert werden, wobei jedoch die Synchronisation aller Agenten nicht vernachlässigt werden darf. Es könnten Inkonsistenzen auftreten, da Latenzen entstehen, wenn Daten verteilt werden. Problematisch hierbei wird die Frage nach der ausreichenden Performance des Gesamtsystems, denn alle Agenten müssen mit dem Geoinformationssystem in irgendeinerweise kommunizieren. Auch die Visualisierung aller Agenten wird ein kritisches Forschungsobjekt in Bezug auf Performanz und Konsistenz sein.

2.3 Visualisierung

Um das Geoinformationssystem zu testen, Bedarf es einer zwei- oder dreidimensionalen GUI, bei der die Funktionalitäten eingesehen werden können. Eine Evaluierung der Funktionalitäten nur auf textueller Basis erscheint schwer, da korrekte Verhaltensweisen der Agenten innerhalb von Gebäuden nicht direkt abgelesen werden können. Aufgrund dessen wird eine prototypische Visualisierungskomponente entwickelt, welche als 'Proof of concept' angesehen werden kann und den anderen Komponenten hilft, eine ausreichende Testumgebung zu bieten.

Die Visualisierungskomponente muss nicht nur Agenten, sondern auch Gebäude(-pläne), Außenanlagen/Gelände und verschiedene Außeneinflüsse (Rauch, Wasser) darstellen können [FX08]. Wie in der Gesamtarchitektur bereits beschrieben, sollte die Visualisierungskomponente abgekoppelt von dem System werden. Bei einer ausreichend dokumentierten Schnittstelle des Geoinformationssystem könnte jedes beliebige Visualisierungsframework verwendet werden. Dadurch können mehrere Endgeräte angesteuert werden, vor allem aber die mobilen.

Dementsprechend müssen verschiedene Frameworks auf ihre Gemeinsamkeiten untersucht werden, um die Schnittstelle des Geoinformationssystem genau zu definieren. Vorteilhaft wäre, diese Schnittstelle dann nicht nur auf Visualisierungsframeworks zu beschränken, sondern auch anderen Komponenten (zum Beispiel dem Agentensystem) die gleiche Schnittstelle zur Verfügung zu stellen.

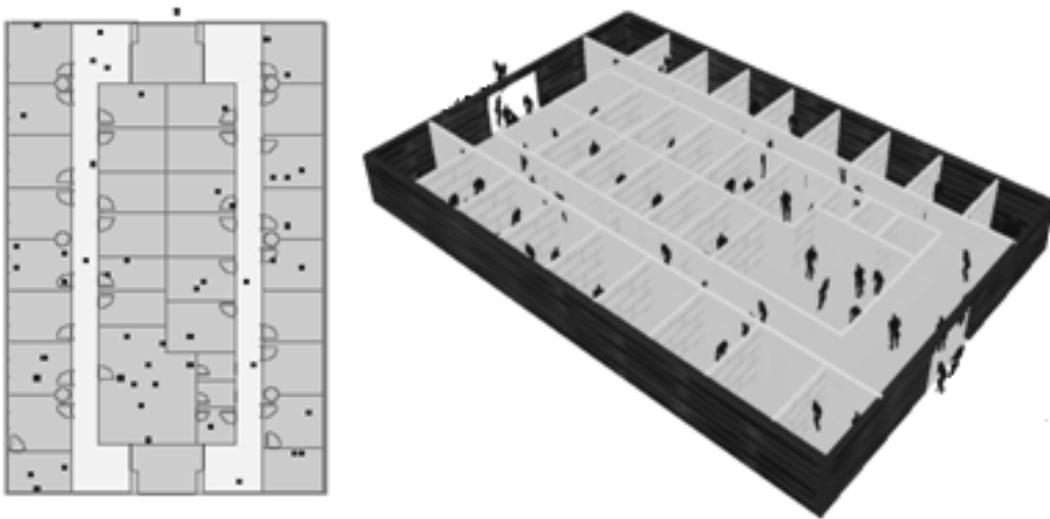


Abbildung 2: Visualisierung eines Gebäudes mit Agenten in 2D und 3D

2.4 RiMEA

Die Richtlinie für Mikroskopische Entfluchtungsanalysen (RiMEA) [RiM09] definiert einen Mindeststandard in Bezug auf die Eingangsgrößen, die Modellbildung, die rechnerische Simulation und die Auswertung und Dokumentation einer Entfluchtungsanalyse. Durch diese Richtlinie kann die Leistungsfähigkeit eines Flucht- und Rettungskonzeptes bewertet werden. Sie kann auf alle baulichen Anlagen einschließlich aller anderen Freiflächen oder Objekte angewendet werden, jedoch liegt der Hauptaugenmerk auf Versammlungsstätten (Großereignisse) mit vielen Personen.

Die in dieser Richtlinie beschriebenen Größen, Berechnungen und Erkenntnisse sind stark relevant zur Erstellung eines Geoinformationssystems im Kontext WALK. Viele funktionale Anforderungen können aus dieser Richtlinie abgeleitet werden, auf welche im folgenden näher eingegangen wird. Insbesondere die Testfälle, die in RiMEA beschrieben werden, eignen sich hervorragend zur prototypischen Entwicklung und Testumgebung der einzelnen Funktionalitäten.

2.4.1 Anforderungen

In der RiMEA können Grundanforderungen für ein Geoinformationssystem im Rahmen von WALK gefunden werden. So müssen Flucht- und Rettungswege (Ununterbrochene und unversperrte Laufwege) sowie ein gesicherter Bereich (Bereich am Ende des Fluchtweges, wo

Agenten vor den Einwirkungen des Schadensereignisses geschützt werden) in der Entwicklung einbezogen werden.

Eine Entfluchtungssimulation muss zwei Kategorien definieren können; zum einen die Geometrie, welche die räumliche Anordnung des Gebäudes und deren Flucht- und Rettungswege, Ebenen, Wände, Treppen und Türen beschreibt, und der Population, welche durch die Agentenkomponente modelliert wird. Dabei sind ein paar Eigenschaften bei der Zusammensetzung zu beachten. RiMEA schreibt vor, dass jede Person in der Simulation individuell repräsentiert werden muss, was auch die Grundüberlegungen beim Design der Agentenkomponente war. Eine Alters- und Geschlechtsverteilung muss definiert werden. Wichtig für das Verhalten der Agenten ist, dass abhängig vom Alter die Geh- und Laufgeschwindigkeiten verändert werden. (Siehe: Weidmann) Des Weiteren gibt es Unterschiede in der Gehgeschwindigkeit auf Treppen.

Das Identifizieren von Stauungen ist ein wichtiger Faktor zur korrekten Gefahrensituationsanalyse. Durch Stauungen in Engpassagen entwickeln sich Massenpaniken, und es gilt, diese in einem Gebäude oder Gelände präventativ zu erkennen und darauf zu reagieren. Die RiMEA schreibt vor, dass ein signifikanter Stau vorliegt, 'wenn eine lokale Dichte von 4 Personen pro Quadratmeter länger als 10% der Gesamtentfluchtungsdauer überschritten wird'.

2.4.2 Dauern

Mithilfe verschiedener vordefinierter Zeitfenster (Dauern) wird in RiMEA ein Szenario empirisch analysiert. Mithilfe dieser Dauern können statistisch relevante Informationen ermittelt werden, welche bei der Analyse einer Gefahrensituation als Messwerte fungieren können.

So sind zum Beispiel die Individuelle Laufdauer (Dauer, die eine Person benötigt, um von ihrer initialen Position zu einem sicher geltenden Bereich zu gelangen) und die Mittlere Gesamtentfluchtungsdauer (Mittelwert von Gesamtentfluchtungsdauern) wichtige statistische Größen. Diese Größen sind zu implementieren, damit Flucht- und Rettungskonzepte bewertet werden können.

2.4.3 Szenarien

Ein Szenarium ist laut RiMEA 'durch eine Geometrie, eine Anfangspersonenverteilung, eine Routenverteilung und die statistische Zusammensetzung der Population definiert'. Dabei können durch Änderungen der Parameter unterschiedliche Szenarien generiert werden. Abhängig von der Nutzungsart eines Objektes (zum Beispiel Einkaufszentrum mit Multiplexkino und Versammlungsstätte) sind Nutzungszeiten und -dauern zu definieren, um differenzierte Szenarien zu entwickeln.

Da jeder Simulationsdurchgang andere Ergebnisse liefern könnte, müssen mehrere Simulationsdurchläufe mit den gleichen Initialwerten gemacht werden. Durch Berechnung der arithmetischen Mittel mithilfe der RiMEA können dadurch statistisch aussagkräftige Ergebnisse erzielt werden.

3 Vergleichbare Arbeiten

In diesem Abschnitt werden nicht nur geeignete Frameworks, sondern auch aktuelle Forschungsergebnisse zu der vorangegangenen Analyse im Hinblick auf Relevanz und Verwertbarkeit im Kontext WALK untersucht.

3.1 Building Information Model und Industry Foundation Class

Ein in der Literatur bekanntes Problem ist die Einbindung von Gebäuderelevanten Informationen, wie sie in CAD-Systemen verwendet werden, in ein Geoinformationssystem zur Analyse dieser Daten in einem Geospazialen Kontext [HEZ10]. Das hat den einfachen Grund, dass CAD- und Geoinformationssysteme separat entwickelt wurden und für andere Zwecke eingesetzt werden. Problematisch sind besonders die unterschiedlichen Dateiformate, Skalierungen, Transformationen der Koordinaten und die Geometriemodellierung.

Building Information Model (BIM) ist die nächste Generation von CAD-Systemen. BIM konzentriert sich auf die Entwicklung einer einzigen Datenbank für die Gebäudeinformationen, welche nicht nur grafische, sondern auch semantische Informationen der Daten besitzt. Dies umfasst nicht nur die architektonischen und strukturellen Informationen, sondern auch Daten über elektrische und mechanische Systeme innerhalb des Gebäudes, weshalb sich BIM von gängig benutzten CAD-Modellen unterscheidet. Dadurch ist es möglich, bestimmte Szenarien mithilfe der BIM-Daten nicht nur visuell darzustellen, sondern automatisch mit weiteren Informationen auszustatten. [YZ08]

Mithilfe der Industry Foundation Classes (IFC), einen offenen Standard zur digitalen Beschreibung von Gebäudemodellen, wurde ein Datenformat entwickelt, welche die logischen Gebäudestrukturen, zugehörige Attribute und Geometrie beschreibt. IFC wird von zahlreicher Software zum Austausch von Gebäudedaten unterstützt. Mithilfe der IFC können Gebäude für das BIM bereitgestellt werden.

Mithilfe verschiedener Werkzeuge, wie einem BIMServer und einem IFC Explorer [LC05], kann ein Geoinformationssystem sinnvoll um die Funktionalitäten von BIM erweitert werden.

3.1.1 BIMServer

BIMServer [BIM10] ist ein Open-Source Projekt geschrieben in Java (Plattformunabhängigkeit), welches die Zentralisierung von Gebäudedaten einer Konstruktion ermöglicht. BIMServer benutzt IFC als Dateiformat für die Gebäudemodelle und kann dementsprechend mit diesen umgehen. Die Hauptvorteile an BIMServer liegt in der Implementierung von Abfragen (Queries), welche direkt an die im BIMServer integrierten IFC gesendet werden können.

Mithilfe von Queries und Filtern können Abfragen wie 'Gebe mir alle Fenster des Gebäudes' oder 'Gebe mir alle Wände des Gebäudes' an den BIMServer geschickt werden. Diese Queries sind optimal für die Schnittstelle zwischen Geoinformationssystem und den Komponenten, da dadurch eine einheitliche Datenstruktur definiert werden kann, welche über simple REST-Anfragen erhalten wird. Die Komponenten können dann mit den erhaltenen Informationen aus den IFC die interne Repräsentation des Gebäudemodells erstellen (Siehe [JR08], [BIM11]).

3.2 Delta 3D

Die Herangehensweise an Delta 3D war nicht, zu überprüfen, ob das Framework im Rahmen von WALK eingesetzt werden kann. Vielmehr ging es darum, Erkenntnisse zu sammeln, wie solche dreidimensionalen Frameworks die genannten Probleme handhaben, um mit den erforschten Informationen Ideen für das weitere Vorgehen zu erhalten.

3.2.1 Komponenten

Problematisch an vielen Informationsschichten ist die korrekte Handhabung und Integration in ein wiederverwendbares Modell. Mithilfe von der DtTerrain API [DtT08] bietet Delta3D eine Komponente zur realistischen Darstellung von topologischen Karten an. Bei der Entwicklung spielten die Terraintechologien SOARX und GENETICS [Wel05] eine Rolle, bei der es das Ziel war, die beiden Technologien zu verschmelzen.

Das Konzept von DtTerrain sieht zwei wichtige Komponenten vor.

Das Terrain ist generell eine große Landschaft. Im Gegensatz zu Gebäuden oder Objekten ist ein Terrain um vielfaches größer. Das Terrain ist durch Punkte im dreidimensionalen Raum beschrieben.

Ein Decorator ist eine Informationsschicht auf dem Terrain. Die Informationen können Vegetationsdaten, aber auch Objektdaten sein. So kann ein Decorator die Anordnung der Bäume als Information inne halten, während ein anderer Decorator Informationen über Wege oder Pfade enthält.

Dadurch erhält man eine Schichtenarchitektur, bei der die einzelnen Schichten nicht nur austauschbar sondern auch änderbar sind.

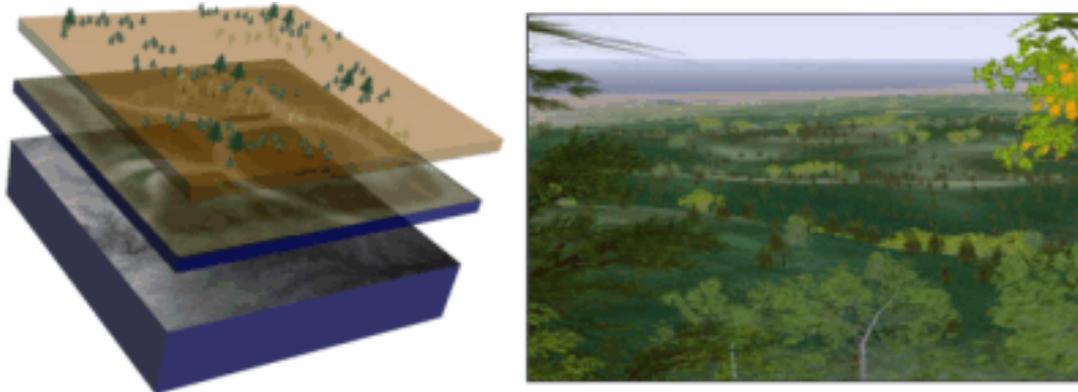


Abbildung 3: Schichtenarchitektur in Delta 3D

Das Konzept von DtTerrain eignet sich hervorragend für das Geoinformationssystem und die Darstellung für den In- und Outdoorbereich. Zu klären ist, wie BIM Daten effektiv in diesem Kontext verwendet werden können.

Mit dem Stealth Viewer, einer Komponente aus dem Simulationssystem von Delta3D, ist es möglich, die Simulation aufzunehmen und als eine Art Video wieder abzuspielen [MRGM08]. Diese 'After Action Review' Komponente kann als Analysewerkzeug eingesetzt werden, um die Gefahrensituationen im Kontext WALK eingehender zu untersuchen. Besonders interessant wäre dies für Sicherheitskräfte, die anhand eines solchen Videos ihre Verhaltensweisen anpassen und die Folgen einer Gefahrensituation besser einschätzen könnten.

3.3 Massive

Massive Software ist ein Framework zur Simulation und Visualisierung von autonomen Agenten und wird in der Filmbranche, in der Spieleindustrie und in der Architektur eingesetzt. Das Unterprojekt Massive Insight [Mas11] konzentriert sich dabei auf die möglichst realitätsnahe Simulation der Welt. Dabei wurde darauf Wert gelegt, dass eine große Anzahl an Agenten verwendet werden kann, die mithilfe von künstlicher Intelligenz gesteuert werden und dadurch ein realitätsnahes Verhalten erhalten. Die künstliche Intelligenz muss jedoch abhängig von dem Szenarium selbst eingebettet werden.

Massive Software wird weltweit für Simulationen eingesetzt, kostet jedoch eine Menge Geld. Interessant wäre, Einblicke in die Architektur des Programms zu erhalten, um so Erkenntnisse zu erhalten, wie dieses Framework die genannten Probleme löst.

4 Forschungsaspekte und Risiken

Ein wichtiger Forschungspunkt ist die Integration von Outdoorbereichen wie Gelände mit Indoorbereichen wie Gebäuden. Dabei wird die Modellierung dieser beiden Bereiche innerhalb des Geoinformationssystem eines der wichtigsten Forschungsfelder sein.

Des Weiteren ergeben sich Forschungsaspekte außerhalb der Informatik, sollte das Projekt WALK erfolgreich verlaufen. Das Ziel ist es, ein Werkzeug bereit zu stellen, mit welchem man präventiv Gefahrensituationen simuliert und analysiert, um mit diesen Erkenntnissen dann gezielt Vorkehrungen trifft, um Menschenleben zu retten. Besonders die Frage, wo und wann Sicherheitskräfte eingesetzt werden können, könnte mit diesem Werkzeug erforscht werden.

4.1 Risikofaktoren

Eines der größten Risiken ist die Frage, ob das BIM innerhalb eines Geoinformationssystems im Kontext WALK überhaupt anwendbar ist. Besonders im Bezug auf die Schichtenarchitektur könnte die Integration zu Problemen führen.

Bisher wurde davon ausgegangen, dass die Gebäudedaten vorliegen. Es stellt sich das Risiko, ob solch ein Projekt überhaupt erfolgreich eingesetzt werden kann, wenn Gebäudedaten nicht vorliegen.

Ein weiteres Risiko ist die Komplexität des Projekts WALK. Das Geoinformationssystem ist nur ein Teilprojekt, und hängt von vielen anderen Komponenten ab. Der Erfolg ist stark von den Entwicklungen der anderen Komponenten abhängig. Ohne die anderen Komponenten fällt ein Testen des Geoinformationssystems schwer, was die Entwicklung beeinträchtigen könnte.

5 Ausblick

Das Projekt WALK ist mit seinen vielen Teilprojekten sehr komplex. Die Idee nimmt langsam ihre Formen an. Dabei sind die ersten Überlegungen zu den Themen Geoinformationssystem, Visualisierung und Agentensystem entstanden. Es ist nicht abschätzbar, was für Komponenten im Laufe der Zeit und der neuen Erkenntnisse hinzukommen. Sie könnten das System unnötig komplex oder sehr aufwändig erscheinen lassen, jedoch ist das Ziel, ein realitätsnahes Modell zu entwickeln, welches eine tragende Rolle in der Prävention und Eindämmung von Gefahrensituationen inne hält.

Literatur

- [BIM10] BIMServer. <http://bimserver.org/>, 2010.
- [BIM11] BIMServer. *BIMServer Features*. <http://bimserver.org/about/features/>, 2011.
- [DtT08] DtTerrain. <http://www.delta3d.org/article.php?story=20051013142113452>, 2008.
- [FX08] TANG Fangqin and ZHANG Xin. *A GIS-Based 3D Simulation for Occupant Evacuation in a Building*. <http://qhxb.lib.tsinghua.edu.cn/myweb/english/2008/2008es1/58-64.pdf>, 2008.
- [HEZ10] I. Hijazi, M. Ehlers, and S. Zlatanovab. *BIM FOR GEO-ANALYSIS (BIM4GEOA): SET UP OF 3D INFORMATION SYSTEM WITH OPEN SOURCE SOFTWARE AND OPEN SPECIFICATION (OS)*. http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/4-W15/Paper_ISPRS/Oral/10_3DGeoInfo2010_159_Hijazi_BIM4GEEOA.pdf, 2010.
- [JR08] Mikael Johansson and Mattias Roupe. *How can GIS and BIM be integrated?* <http://www.caadria2010.org/papers/posters/johansson.pdf>, 2008.
- [LC05] A. Lapierre and P. Cote. *Using Open Web Services for urban data management: a testbed resulting from an OGC initiative offering standard CAD/GIS/BIM services*. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.133.3654>, 2005.
- [Mas11] Massive. <http://www.massivesoftware.com/real-world-simulation/>, 2011.
- [MRGM08] Curtiss Murph, Chris Rodgers, David Guthrie, and Perry McDowell. *Building Training Games With the Delta3D Simulation Core*. http://www.delta3d.org/filemgmt_data/files/Tutorial_629_v1.1.pdf, 2008.
- [RiM09] RiMEA. *Richtlinie für Mikroskopische Entfluchtungsanalysen*. <http://www.rimea.de/downloads/r2.2.1.pdf>, 2009.
- [Wel05] William D. Wells. *Generating enhanced natural environments and terrain for interactive combat simulations (GENETICS)*. <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1101616.1101655>, 2005.
- [YZ08] LI Yuan and HE Zizhang. *3D Indoor Navigation: a Framework of Combining BIM with 3D GIS*. http://www.isocarp.net/Data/case_studies/1187.pdf, 2008.