

# Zur Nutzung von 3D-Stadtmodellen für mobile Navigationssysteme

Michael Bauer<sup>2</sup>, Volker Coors<sup>1</sup>, Thorsten Schulz<sup>1</sup>, Alexander Zipf<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hochschule für Technik Stuttgart  
thorsten.schulz@hft-stuttgart.de

<sup>2</sup>Geographisches Institut / Universität Bonn  
bauer@geographie.uni-bonn.de

**Zusammenfassung.** Mit Hilfe von Wegbeschreibungen mittels Landmarken (für intuitivere Anweisungen) und synthetischen Texturen (Kosten- und Speicherreduktion) im Kontext von 3D-Stadtmodellen können Probleme, die aktuelle mobile Navigationslösungen bei der Wegfindung auf der „letzten Meile“ noch haben, adressiert werden. In diesem Artikel werden entsprechende Konzepte und Umsetzungen zur Verwirklichung von landmarkenbasiertem Routing in einer GDI und Methoden zur effizienten Erfassung, Beschreibung und Nutzung von synthetischen Texturen vorgestellt, welche in dem Projekt MoNa 3D derzeit mit Partnern aus der Industrie und Forschung entwickelt werden.

## MOTIVATION

Wegbeschreibungen, die mit der aktuellen Generation kommerzieller Routenplaner und Navigationssysteme generiert werden, enthalten oft immer noch vor allem lediglich Richtungs- und Entfernungsangaben. Erste Systeme experimentieren mit 3D-Darstellungen ([www.pioneer.de](http://www.pioneer.de), [www.mio-tech.be](http://www.mio-tech.be)), verwenden diese jedoch nach wie vor hauptsächlich für die Darstellung einzelner Sehenswürdigkeiten. Diese klassische Form der Routenbeschreibung ist jedoch für viele Benutzer nicht optimal. In Forschungsprototypen werden dagegen schon seit geraumer Zeit auf unterschiedlicher Ebene weitergehende Konzepte untersucht wie z.B. Hansen et al. (2006), Peters und Richter (2007), Nurminen (2006), Unterstützung durch Sprachinteraktion (Richter et al. 2008) bis hin zu auditiven Ansätzen (Baus et al. 2007).

Bekanntlich beschränken sich Personen, die eine Wegbeschreibung textuell oder graphisch anfertigen sollen, beispielsweise nicht auf die grundlegenden Elemente wie Straßennamen und Knickpunkte, sondern fügen der Beschreibung zusätzliche Orientierungshilfen (Landmarken) hinzu (Tversky und Lee 1999). Ebenso wird die Qualität der Wegbeschreibung nach der

Verwendung von zusätzlichen Landmarken beurteilt (Lovelace et al. 1999, Michon und Denis 2001).

Auf Überlandstrecken mögen die heutigen Techniken genügen, im urbanen Raum, auf der „letzten Meile“ des Weges ist die Wegfindung jedoch weit anspruchsvoller. Eine Unterstützung des Nutzers bei der Navigation mit zugehörigen 3D-Daten eines Stadtmodells stellt daher einen wesentlichen Schritt zur Erlangung eines solchen Zieles dar. 3D-Daten ermöglichen dabei unter anderem auch die Berücksichtigung von z.B. Unterführungen. Wichtiger erscheint jedoch, dass bei der Fußgängernavigation Ungenauigkeiten bei der Positionsbestimmung nur bedingt durch den Abgleich mit Straßendaten (da Fußgänger nicht an diese gebunden sind) und Informationen, die z.B. mit Hilfe von Sensoren in einem Auto bestimmt werden, ausgeglichen werden können. Aus diesem Grund wäre eine realitätsnahe 3D-Darstellung der Umgebung und somit ein geeignet texturiertes 3D-Stadtmodell wünschenswert, welches eine visuelle Orientierung durch den Nutzer ermöglicht. In der Arbeit der Autoren soll diese Hypothese hinsichtlich Nutzer- und Situationsrelevanz sowie Machbarkeit überprüft und weitere Beiträge dazu geleistet werden. Dabei wird in diesem Beitrag v.a. auf zwei Aspekte eingegangen:

- die Integration visueller 3D-Landmarken unterschiedlicher Detaillierungsgrade (LOD) (bis hin zu voll texturierten, nahezu fotorealistischen 3D-Objekten) für Routenbeschreibungen in mobile Navigationsanwendungen auf möglichst interoperablem Wege, d.h. unter Nutzung von OGC-Standards und

- die technische Realisierung einer kostengünstigen generalisierten Erfassung von Gebäudetexturen und performanten Unterstützung von Texturen für 3D-Stadtmodelle auf mobilen Geräten mit Hilfe von synthetischen Texturen.

Die Texturierung, welche diese Art von Darstellung eines 3D-Stadtmodells ermöglicht und damit für den Wiedererkennungswert verantwortlich ist, ist teils - wie noch detailliert gezeigt wird - mit erheblichen Kosten und großen Ressourcenanforderungen bei den mobilen Endgeräten verbunden. Sie stellt somit einen Hinderungsgrund neben ungeeigneteren Anweisungen dar, um ein Navigationssystem der nächsten Generation zu entwickeln.

In dem Projekt „Mobile Navigation 3D – 3D-Stadtmodelle für mobile Navigationssysteme“ (kurz MoNa 3D) mit Projektpartnern aus der Industrie (GTA Geoinformatik, Heidelberg Mobil, Navigon und Tele Atlas) sowie aus der Forschung (Fachhochschule Mainz, Universität Bonn und

Hochschule für Technik Stuttgart) werden aus diesem Grund die oben genannten Aspekte adressiert.

Die Routenbeschreibung durch 3D-Landmarken sowie der Einsatz von synthetischen Texturen sind Komponenten, die kombiniert den Benutzer beim Finden seines Weges unterstützen. Die beiden Themengebiete werden im Folgenden in diesem Beitrag thematisiert.

### **3D-Stadtmodelle zur Navigationsunterstützung**

Von der Verwendung von 3D-Stadtmodellen zur Darstellung und nicht zuletzt auch zur Extraktion von Landmarken versprechen sich die Autoren einen spürbaren Gewinn hinsichtlich der Qualität der Routenvisualisierung und -beschreibung. Dies wird unterstützt von Untersuchungen von Coors et al. (2005), Elvins et al. (1997) und anderen. Allerdings sind hier noch weitere empirische Untersuchungen notwendig. Für eine valide empirische Untersuchung müssen jedoch realitätsnahe Prototypen existieren, die derartige Untersuchungen sowohl in Laborumgebungen und wichtiger noch in natürlichen Realweltumgebungen mit echten mobilen Usern überhaupt ermöglichen. Diese gibt es bisher wegen der genannten technischen Limitationen kaum, so dass obige Aussagen beide noch mit echten mobilen 3D-Navigationsgeräten überprüft werden müssen. Hierzu werden im Zuge der unten beschriebenen Arbeiten entsprechende Untersuchungen vorbereitet. Eine zu überprüfende Hypothese lautet dabei, dass ein 3D-Modell neben dem Abgleich zwischen realer und virtueller Umgebung auch die Hervorhebung prägnanter Landmarken und deren Einsatz für Routenbeschreibungen durch die Einbeziehung der Sichtbarkeit erleichtert.

Bei der 3D-Visualisierung soll untersucht werden wie neben den Landmarken auch der Kontext, insbesondere die Bebauung, realitätsnah dargestellt werden kann, um - wie einleitend beschrieben - bei der Navigation des Nutzers unterstützend zu wirken. Allerdings ist eine weitere – eher marktwirtschaftliche – Komponente nicht zu vernachlässigen, die zur Entwicklung entsprechender Navigationssysteme führt; relativ unabhängig von Aspekten der Benutzerfreundlichkeit führt die rein technische Machbarkeit zur Einführung in den Markt, schlicht weil die Anbieter Alleinstellungsmerkmale benötigen (bzw. die Erfolge der Innovatoren nachvollziehen müssen) und weil die Kunden, dem Vorbild der Early Adopters folgend ebenfalls immer das neueste Feature wünschen. Hierzu sind neben entsprechenden 3D-Visualisierungstechniken auf mobilen Endgeräten Technologien zur Beschreibung und Speicherung von 3D-Gebäudetexturen erforderlich.

Die spezifischen Anforderungen mobiler Endgeräte gilt es zu berücksichtigen. Die Ressourcen sind limitiert. Dies betrifft die Speichergröße, die mehr oder minder begrenzte Bandbreite der Übertragungsmedien sowie die Render- und Verarbeitungsgeschwindigkeit. Es gilt einen bestmöglichen Kompromiss zwischen mobil gerade noch zu verarbeitender Datenmenge und dem erforderlichen bzw. gewünschten Wiedererkennungswert zu finden.

Ein Verfahren zur Kompression der geometrischen Beschreibung von 3D-Stadtmodellen und der daraus resultierenden kompakten Datenhaltung wird in Coors (2008) vorgestellt. Neben den Möglichkeiten zur Landmarkenextraktion ist somit eine effektive Beschreibung und Speicherung der Texturen eine Anforderung, um 3D-Stadtmodelle in entsprechend mobile Navigationssysteme integrieren zu können.

### **3D-Wegbeschreibungen und synthetische Texturen**

Ansätze und prototypisch implementierte Teilaspekte zu Landmarken finden sich in den letzten Jahren zunehmend in der Fachliteratur. Unser Ziel ist es, relevante Ansätze aufzunehmen und ein integriertes System zu erstellen das zeigt, dass es möglich ist auf Basis von OGC-Spezifikationen landmarkenbasiertes Routing in einer 3D-Umgebung zu realisieren.

Die Autoren schlagen die Nutzung von synthetischen Texturen vor, bei denen während der Laufzeit einer Navigationsanwendung die darzustellenden Informationen der jeweiligen Textur (computergeneriert) erzeugt werden. Bei gleichen Ausgangsbedingungen werden jeweils dieselben Ergebnisse ermittelt, welche auf die Geometrien abgebildet werden.

Eine synthetische Textur besteht aus Anweisungen und vielfach verwendeten typischen Standardtexturelementen aus einem kompakten Datenbestand. Die Textur kann entsprechend den Anforderungen erfasst, verwaltet, gespeichert und verwendet werden. Eine konkrete Beschreibungsform, deren Nutzung und Datenerfassungsmöglichkeiten, um synthetische aber jedoch realistisch wirkende und für die Navigation ausreichende Texturen verwenden zu können, werden in Kapitel 4 dieses Beitrag thematisiert.

Die 3D-Visualisierung erscheint insbesondere für ein mobiles Fußgängernavigationssystem hilfreich. Aber auch Fahrzeugnavigationssysteme können von der Nutzung dreidimensionaler Stadtmodelle profitieren. Mit deren Hilfe können sichtbare Landmarken, welche auch aufgrund von Fassadeneigenschaften als solche selektiert werden, und 3D-Eigenschaften bei der Wegbeschreibung berücksichtigt werden, unabhängig davon, ob die Wegbeschreibung durch eine 3D-Karte oder mit Hilfe von gesprochenen Navigationsanweisungen erfolgt.

Die optimierte Darstellung der Navigationsinformationen soll dabei einer optimalen Verständlichkeit für den Benutzer dienen – was letztendlich zu erhöhtem Komfort und auch zusätzlicher Sicherheit im Straßenverkehr führt.

Nach einem Blick auf den aktuellen Stand der Forschung werden die Themenkomplexe Wegbeschreibung sowie synthetische Texturen im Detail betrachtet. Die Bedeutung von Landmarken, der intuitive Begriff der Textur sowie der synthetischen Textur werden dabei genauer spezifiziert und ein mehrschichtiges Verfahren zur Beschreibung und Nutzung derselben, ein konkretes Beschreibungsformat sowie Möglichkeiten zur Datenerfassung beschrieben.

## **STAND DER FORSCHUNG**

In vielen aktuellen Navigationssystemen ist tatsächlich eine Art Pseudo-3D-Ansicht aktivierbar, die aber keineswegs eine echte 3D-Darstellung der Karteninhalte liefert, sondern es wird vielmehr eine zweidimensionale Karte vertikal gesenkt dargestellt, um einen perspektivischen Eindruck zu vermitteln. In der Entwicklung befinden sich derzeit Systeme, die anstatt einer perspektivischen Karte ein digitales Geländemodell zur Visualisierung verwenden. Erste Produkte dieser Art kommen 2008 auf den Markt. Aufgrund der Eigenschaften eines digitalen Geländemodells spricht man von 2.5 dimensional Modellen bzw. Höhenfeldern. Jedem Punkt in der Bezugsebene kann nur genau ein Höhenwert zugeordnet werden. Eine Darstellung komplexer 3D-Modelle im Raum ist mit Höhenfeldern nicht realisierbar. Auf dem asiatischen Markt existieren erste Lösungen einer einfachen echten 3D-Darstellung für den Bereich der Fahrzeugnavigationssysteme. 3D-Visualisierung von Stadtmodellen auf Smartphones, die darüber hinaus eine Interaktion ermöglichen, wurden bislang nur in Forschungsprototypen (Schilling et al. 2004, Blechschmied et al. 2005, Oulasvirta et al. 2005 sowie Nurminen 2006) erprobt.

### **Wegbeschreibung mit Landmarken**

Lovelace, Hegarty et al. (1999) unterscheiden vier Kategorien von Landmarken in Abhängigkeit der Lage der Landmarke relativ zur Route. Elias und Sester (2002) verwenden Daten des amtlichen topographisch-kartographischen Informationssystems (ATKIS) sowie der automatisierten Liegenschaftskarte (ALK), um visuelle Landmarken entlang einer gegebenen Route zu identifizieren. Eine direkte Überprüfung der Sichtbarkeit erfolgt jedoch nicht. Raubal und Winter (2002) haben ein Konzept zur Identifikation lokaler Landmarken an Entscheidungspunkten entwickelt, dass vi-

suelle und semantische Eigenschaften sowie die Lage von Gebäudefassaden bewertet und mit der Umgebung vergleicht. Dasjenige Objekt, das den höchsten Gesamtwert besitzt, wird an Entscheidungspunkten als Landmarke in die Wegbeschreibung eingefügt.

Galler (2002) schlägt einen informationstheoretischen Ansatz zur Ermittlung des Informationsgehalts einer Gebäudefassade vor. Die Referenzmenge wird dabei von den an einer gemeinsamen Kante (Straße) liegenden Front- und Seitenfassaden der Gebäude gebildet. Aus dieser Referenzmenge von Fassaden wird über einen informationstheoretischen Ansatz die Fassade extrahiert, die als Landmarke fungieren soll. Dieser Ansatz wird von Seiler (2004) um Sichtbarkeitsanalysen ergänzt. Dem Verfahren zur Bestimmung der Landmarken liegt wie auch dem Ansatz von Raubal und Winter ein texturiertes 3D-Stadtmodell zugrunde.

Brenner und Elias (2003) verwenden zur Identifikation von Landmarken nur ein digitales Oberflächenmodell (DOM), das mit Hilfe von ALK-Daten und Höhen, die durch Laserscanning ermittelt wurden, erstellt wird. Mit Hilfe eines Raytracing-Verfahrens kann entlang der Route die Dauer der Sichtbarkeit von Objekten ermittelt werden. Anhand des „Sichtbarkeitsverlaufs“ können Gebäude als Landmarke eingesetzt werden. Mit diesem Verfahren werden insbesondere Landmarken extrahiert, die auf einer gegebenen Route längere Zeit sichtbar sind und an Entscheidungspunkten stehen.

Multimodale Ausgaben von Landmarken in Wegbeschreibungen werden in Coors et al. (2005) über eine ausgabeneutrale Darstellung der Wegbeschreibung erreicht. Diese sog. preverbale Nachricht ermöglicht eine Wegbeschreibung auch über Landmarken. Die preverbale Nachricht kann über einen Präsentationsmanager kontextabhängig in verschiedenen Medientypen wie Text, Sprache, 2D-Karte oder 3D-Karte umgewandelt und dargestellt werden. Daneben werden zahlreiche neue - z.T. multimodale Interaktionsformen – untersucht, wie z.B. Aslan et al. (2005), Wasinger et al. (2005), Rukzio et al. (2005).

## **Synthetische Texturen in 3D-Stadtmodellen**

Die manuelle Texturierung von Gebäudefassaden mit terrestrischen Aufnahmen stellt derzeit einen erheblichen Engpass bei der Erzeugung virtueller Stadtmodelle dar (vgl. Haala 2005). Zur Automatisierung dieses Prozesses müssen geeignete Verfahren zur Bestimmung der äußeren Orientierung (Lage und Position der Kamera während der Aufnahme bezogen auf den Aufnahmegegenstand) gefunden werden.

Die GTA Geoinformatik GmbH hat mit dem „Georeferenced Telepointing Assistent“ ein Gerät entwickelt, das die äußere Orientierung von Bil-

dem ermittelt, die mit einer hochwertigen Spiegelreflexkamera aufgenommen werden. Dieses Gerät wird auf den Blitzschuh der Kamera aufgesteckt, GPS und Orientierungssensor werden zur Bestimmung der notwendigen Parameter verwendet ([www.gta-geo.com](http://www.gta-geo.com)). Derzeitige Entwicklungen nutzen fahrzeuggestützte Systeme, bei denen die Parameter der äußeren Orientierung der Bilder mit ausreichender Genauigkeit direkt gemessen werden (Früh und Zakhor 2003). Neben Kameras kommen auf solchen Fahrzeugen auch terrestrische Laserscanner zum Einsatz, um durch die damit mögliche detaillierte Aufnahme der Fassadengeometrien eine weitere Aufwertung der dreidimensionalen Stadtmodelle zu erreichen.

Ansätze aus der Computergraphik versuchen, realitätsnahe Fassadentexturen mit Hilfe deterministischer Algorithmen aus geeigneten Beschreibungen zu generieren. Einfache Materialstrukturen wie Ziegelstein, Rauhputz und ähnliches können über prozedurale Verfahren erzeugt (Ebert et al. 2003) oder anhand von Beispielen synthetisiert werden (Lefebvre und Hoppe 2005).

Tele Atlas erstellt in Zusammenarbeit mit GTA Geoinformatik texturierte 3D-Geländemodelle für Navigationszwecke. Der Ansatz basiert auf einem Texturbibliotheksansatz (Vande Velde 2005). Jede Gebädefassade wird dabei in Komponenten wie Fenster und Türen unterteilt. Die Fassadentexturen basieren auf einer generischen Bibliothek. Besondere Gebäude (z.B. Sehenswürdigkeiten) werden als Landmarken verwendet und mittels klassischer Photogrammetriemethoden detailliert modelliert.

Mit Hilfe von Texturschichten lassen sich Türen und Fenstertexturen in Materialstrukturen einbringen. Somit können sehr realitätsnahe Fassadentexturen für bestimmte mehr oder weniger standardisierte Gebäudetypen erzeugt werden. Müller et al. (2006) haben mit dieser Technik sehr real aussehende Stadtmodelle erzeugt, beispielsweise eine am Computer generierte Rekonstruktion von Pompeii. Zielmarkt für diese Art von generierten Stadtmodellen sind Computerspiele, Animationsfilme und Special Effects. Ein weiteres Beispiel für die Kombination von standardisierten Gebäudetexturen und Fototexturen für prominente Gebäude ist das 3D Modell von München ([www.muenchen3d.de](http://www.muenchen3d.de)).

Ein offenes Problem bei der Verwendung von prozeduralen und synthetischen Texturen ist derzeit die Kontrollierbarkeit der Verfahren. Die sog. City Engine von Müller et al. (2006) beispielsweise erzeugt ausgehend von einem regelbasierten System eine Vielzahl von Variationen möglicher Gebäudegeometrien und -texturen. Es ist jedoch noch kaum möglich, über Regeln Randbedingungen so zu definieren, dass das generierte Modell einem bestimmten realen Gebäude ähnlich sieht. Dies ist aber notwendig, um

entsprechende Verfahren zur Generierung realitätsnaher 3D-Stadtmodelle für Navigationsanwendungen zu verwenden.

## **KONZEPT LANDMARKENBASIERTES 3D-ROUTING**

Die Entwicklung eines Verfahrens zur Identifikation kontextabhängiger Landmarken für die Navigationsunterstützung in 3D sowie die Generierung von geeigneten Routenbeschreibungen unter Einbeziehung der identifizierten Landmarken für die Navigationsunterstützung in 3D bedarf einer Weiterentwicklung der Komponenten für die Realisierung einer OGC-konformen Geodateninfrastruktur (GDI) für 3D-Stadtmodelle. Bei der Weiterentwicklung und Umsetzung der GDI-Server-Komponenten wird der aktuelle Standardisierungsprozess des OGC beachtet und dieser ggf. weiter entwickelt.

Landmarkenbasiertes Routing lässt sich auf zwei verschiedenen Arten von Datensätzen für Landmarken durchführen. Einmal mit einem vorgefertigten Landmarken-Layer, in dem bestimmte Gebäude fix als Landmarken festgelegt sind. Beispiele hierfür sind touristische Sehenswürdigkeiten oder wichtige öffentliche Gebäude. Die andere Möglichkeit ist, jedem Gebäude einen Wert zuzuordnen, der bestimmt, wie gut das Objekt als Landmarke geeignet ist, die sogenannte „Landmarkness“ (Raubal und Winter 2002).

Dazu wird zunächst eine Methodik zur automatischen Extraktion von Landmarken aus vorhandenen Geodatenbeständen benötigt. Dabei werden zuerst lokale Landmarken (vgl. Steck und Mallot 2000) berücksichtigt. Globale Landmarken werden in späteren Projektphasen hinzukommen. Im Gegensatz zu vielen bestehenden Verfahren sollen zunächst alle Gebäudeobjekte eines Datensatzes unabhängig von einer gegebenen Route in Betracht gezogen werden, um entsprechende Hinweise zur Eignung als Landmarke zu erhalten. Für eine konkrete Route werden aus diesem Pool von potentiellen Landmarken konkrete Objekte nach Sichtbarkeitskriterien und benutzer- bzw. kontextabhängigen Faktoren ausgewählt. Für die Verwaltung dieser Faktoren werden eigene Dienste (User Management Service, Context Management Service) entworfen.

Für die Eignung von Geoobjekten als Landmarke sind neben der Sichtbarkeit und der visuellen Unterscheidbarkeit – der „Salienz“ eines Geoobjektes (vgl. Winter 2003, Klippel und Winter 2005, Winter et al. 2005), auch die kontextabhängige unterschiedliche „Relevanz“ eines Geoobjektes z.B. auf der Basis seines Objekttyps oder des Nutzungstyps wesentlich (vgl. Zipf 2003, Raubal und Winter 2002).

Grundsätzlich lassen sich Landmarken in vier Kategorien einteilen: Geometrisch, visuell, semantisch und strukturell geprägte Landmarken. Um die finale Bewertung einer Landmarke durchzuführen müssen die verschiedenen Aspekte berücksichtigt und gegeneinander gewichtet werden. Dazu werden auf Basis verschiedener Ansätze aus der Literatur (insb. z.B. Raubal und Winter 2002, Winter et al. 2005) Formeln entwickelt, die die Ansätze zusammen bringen und von der Theorie in die Praxis überführen sollen.

Bisherige Ansätze nutzen nur Einzelaspekte oder beschränken sich auf 2D-Karten. Da die Sichtbarkeit für den Einsatz von Landmarken entscheidend ist, werden die Vorteile, die 3D-Stadtmodelle bieten, für eine Sichtbarkeitsanalyse genutzt werden. Für die Bestimmung der grundlegenden Sichtbarkeit eines Gebäudeobjekts wird eine Sichtbarkeitsanalyse vom Gebäude hin zum umliegenden Strassennetzwerk durchgeführt werden. Der prozentuale Anteil der sichtbaren Strassenabschnitte ergibt den Faktor der Grundsichtbarkeit eines Objekts.

Nachdem die vier Teilaspekte eines Gebäudes bewertet wurden, kann aus diesen eine allgemeine Landmarkness für jedes Gebäude zusammengefügt werden.

Um die Erweiterbarkeit, Interoperabilität und Nachhaltigkeit des Systems sicherzustellen, sollen die 3D-Stadtmodelle sowie die Navigationsfunktionalitäten innerhalb einer Geodateninfrastruktur (GDI) bereitgestellt werden. Diese Infrastruktur muss für 3D-Geodaten erweitert werden. Erste Ergebnisse liegen hierzu vor (Zipf et al. 2007).

Im Bereich LBS und Navigationsunterstützung ist das OGC über die "Open Location Services Initiative" (OpenLS) aktiv. Diese Initiative definiert offene Schnittstellen und Dienste für mobile ortsbezogene Dienste. Im Rahmen verschiedener Projekte (insb. [www.ok-gis.de](http://www.ok-gis.de)) wurden die wesentlichen Komponenten der OpenLS Spezifikation in der akademischen Welt erstmalig implementiert und für 3D-Anwendungen erweitert (Neis et al. 2007).

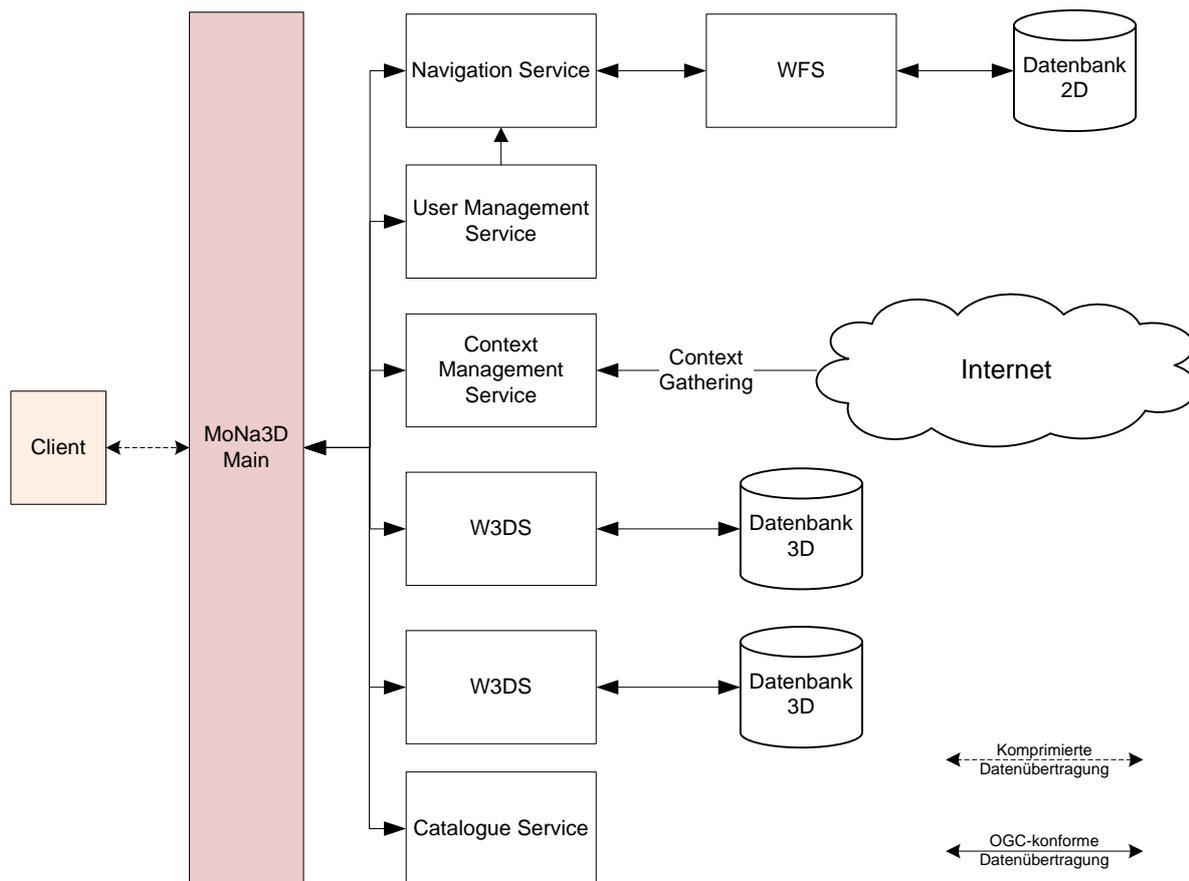


Abbildung 1: Vereinfachte Grobskizze der Systemarchitektur

Die im dort vorgestellten *Route Service with Landmarks* erzeugten Fahr- anweisungen und Geometrien werden möglichst ausgabeneutral und platt- formunabhängig gehalten. Durch Einbeziehung der aktuellen Nutzerposi- tion und weiterer Aspekte wird der Route Service nun zum *Navigation Ser- vice*. Schon Hansen et al. (2006) stellen hier Erweiterungen für die Einbe- ziehung von Landmarken vor. Zur zusätzlichen deklarativen Definition von 3D-Visualisierungen wurde aktuell die OGC Spezifikation *Styled Layer Descriptor / Symbol Encoding* für die Verwendung mit Web 3D Services (W3DS) erweitert (Neubauer und Zipf 2007).

Abbildung 1 zeigt eine Grobskizze der in MoNa 3D verwendeten Sys- temarchitektur. Dort wird das Zusammenspiel des Navigation Service mit den Services zum Management von Benutzerprofilen und Kontext sowie der 2D- und 3D-Datendiensten deutlich. Im Besonderen wird eine Zwi- schenschicht (MoNa3D Main) vorgesehen, die die Realisierung eines komp- akten Clients und die effiziente Nutzung von OGC-Diensten durch die Weiterleitung der Clientanfragen an die entsprechenden Dienste mittels ei- nes Catalogue Service ermöglicht. Dadurch ist diese Architektur beliebig erweiterbar, insbesondere durch weitere Web 3D Services zur Bereitstel- lung von 3D-Stadtmodellen. Diese bislang so noch nicht durchgeführte Kombination von OGC-Diensten sowie die Verwendung einer Zwischen-

schicht und einer komprimierten Datenübertragung stellt einen wesentlichen Baustein zur Erreichung der in Abschnitt 1 genannten Ziele dar.

## **SYNTHETISCHE TEXTUREN**

In der Photogrammetrie werden dreidimensionale Gebäudemodelle üblicherweise in Form von Geometrie und digitalen Bildern erfasst. Die digitalen Bilder werden geeignet modifiziert (hierzu zählt unter anderem die gegebenenfalls erforderliche Perspektivenkorrektur) und auf die jeweilige Gebäudegeometrie abgebildet. Auf diese Weise können sehr detaillierte und photorealistisch wirkende Modelle generiert werden. Digitale Bilder, die zu diesem Zweck auf den Oberflächen der Modelle abgebildet werden, werden im Folgenden als Texturen bezeichnet.

Ziel des Textureinsatzes ist es einen realistischen Eindruck zu vermitteln. In 3D-Stadtmodellen werden sie zu diesem Zweck häufig auf Geländemodellen sowie auf Gebäudefassaden und -dächer aufgebracht. Für das Gelände sind hierzu in der Regel hochauflösende Orthophotos aus Luftbildern verfügbar, zudem ist die Texturierung der Dächer ebenfalls mit Hilfe von Luftbildern in den meisten Fällen problemlos möglich.

Die zur Texturierung benötigten Bildkoordinaten der Gebäudekörper können aus den jeweiligen Objektkoordinaten einfach abgeleitet werden, da die hierfür erforderlichen Parameter der inneren und äußeren Orientierung der Luftbilder häufig bereits aus anderen Auswertungsschritten zur Verfügung stehen.

Der Aufwand zur Erzeugung von qualitativ hochwertigen Fassadentexturen ist jedoch sehr hoch. Für viele Gebäudefassaden sind aufgrund des - aus dem verwendeten Verfahren resultierenden - ungünstigen Blickwinkels (vgl. auch Döllner 2006) keine Bildinformationen in ausreichender Qualität und Auflösung verfügbar. Zur Texturierung der Fassaden werden daher häufig terrestrische Aufnahmen benötigt.

Diese terrestrischen Bilder beinhalten die Parameterwerte der inneren und äußeren Orientierung üblicherweise nicht. Die Auswertung der terrestrischen Bilder erfolgt deshalb meist durch eine manuelle Verknüpfung einzelner Bildausschnitte mit den zugehörigen Fassadenflächen.

Die Nutzung dieser Art von Texturen ist zudem sehr speicherintensiv. Aufgrund der entsprechenden Limitierung bei aktuellen Endgeräten sind diese nicht direkt im mobilen Kontext einsetzbar. Computergenerierte synthetische Texturen können in diesem Zusammenhang dazu verwendet werden diesen Speicherbedarf drastisch zu senken, die Übertragung solcher Modelle in verteilten Netzen zu optimieren sowie die Erstellung von unter

anderem Fassadentexturen zu vereinfachen, zu beschleunigen und daraus resultierend auch kostengünstiger zu gestalten.

Im Gegensatz zu Fototexturen bieten synthetische Texturen auch den Vorteil Techniken wie Bump-Mapping und Displacement-Mapping verwenden zu können. Diese Techniken ermöglichen es, Texturen mit Tiefeneindrücken darzustellen und so einen 3D-Effekt zu erzielen.

Im Folgenden wird nun ein Verfahren für synthetische Texturen auf der Basis einer so genannten Pulsfunktion beschrieben, welches im Projekt MoNa 3D für die kompakte und effiziente Beschreibung von synthetischen Fassadentexturen unter Berücksichtigung einer kleinen Texturelementbibliothek entwickelt und eingesetzt wird. Nach einer kurzen Definition der Pulsfunktion (vgl. auch Parish und Müller 2001), werden der praxisnahe Einsatz im Projekt, daraus folgende neue spezifische Eigenschaften und Erweiterungen sowie DV-technische Umsetzungen in diesem Bericht beschrieben.

## **Pulsfunktionen**

Das Verfahren zur Erzeugung und Nutzung synthetischer Fassadentexturen kombiniert den Ansatz der prozeduralen Synthese und vorlagenbasierten Textursynthese (vgl. Abschnitt 2.2) mit dem Ziel der effizienteren Texturberechnung und erweiterter Möglichkeiten (bei Bedarf näherer Realismus und Realisierung komplexerer Fassadentexturen). Eine Fassadentextur wird dabei auf der Basis einer Texturelement-Bibliothek erstellt. Diese enthält typische Material-, Fenster- und Türbilder, deren Anordnung parametrisiert beschrieben wird.

Unter der Annahme, dass die Gebäudegeometrie durch ihre begrenzenden Oberflächen spezifiziert wird (Boundary Representation), wird jede Wand eines Gebäudes durch mindestens ein Polygon beschrieben. Für jede Beschreibung kann weiterhin eine Pulsfunktion für jede Dimension spezifiziert werden, welche für die Beschreibung und Erzeugung der synthetischen Textur verwendet wird. Die Pulsfunktionen  $p(x)$  und  $p(y)$  werden wie folgt spezifiziert:

Eine Pulsfunktion  $p: [0,1] \rightarrow \{0,1\}$  wird genutzt um spezifische Textur-elemente wie Wand, Fenster und Türen auf einer Fläche zu platzieren. Ist das Produkt beider Pulsfunktionen 1, dann wird das jeweilig spezifische Texturelement eingefügt. Abbildung 2 illustriert das Einfügen von drei horizontal angeordneten viereckigen Texturelementen. Die Funktion  $p(y)$  wird entsprechend nur in einem Bereich 1,  $p(x)$  hingegen drei Mal. Die Pulslänge ist identisch.

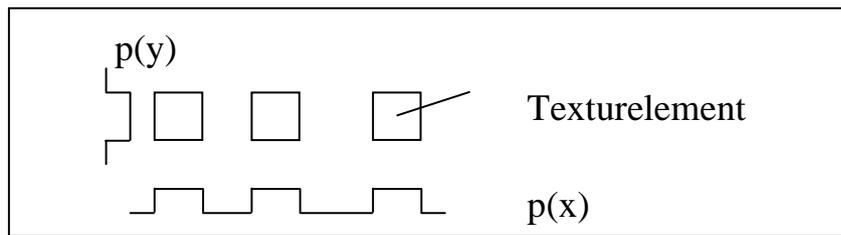


Abbildung 2: Pulsfunktionen  $p(x)$  und  $p(y)$

Flexibel wird das Konzept – u.a. im Vergleich zu Döllner et al. (2005) – durch die Nutzung eines Schichtenmodells. Beliebige viele Schichten können spezifiziert werden (jede mit dieser Art von Pulsfunktionen). So können Schichten für unter anderem Fenster und Türen angegeben werden. Jede Schicht basiert auf üblicherweise unterschiedlichen Pulsfunktionen. Ein Beispiel wird in Abbildung 3 gezeigt. Die einzelnen Schichten werden anschließend wie Folien übereinander gelegt und ergeben zusammen die finale synthetische Textur.

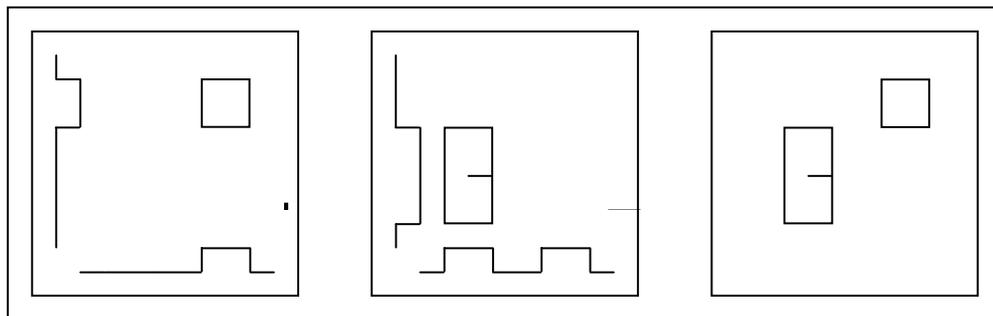


Abbildung 3: Schichtenmodell

Die Pulsfunktionen können auf jede Geometriebeschreibung abgebildet werden. Das lokale Koordinatensystem der Textur wird für die Abbildung der Pulsfunktionen genutzt, das lokale Oberflächenkoordinatensystem der Geometrie zur Abbildung der Textur auf die Koordinate. Eine Einschränkung der Beschreibung auf unter anderem einzelne Wände ist somit nicht gegeben.

In Abbildung 4 wird der Einsatz der Pulsfunktionen auf dem mobilen Endgerät illustriert. Auf der linken Seite ist eine Wand mit den zugehörigen Pulsfunktionen für die Fenster, auf der rechten Seite hingegen ein Modell eines realen Gebäudes mit entsprechender Texturierung erkennbar.

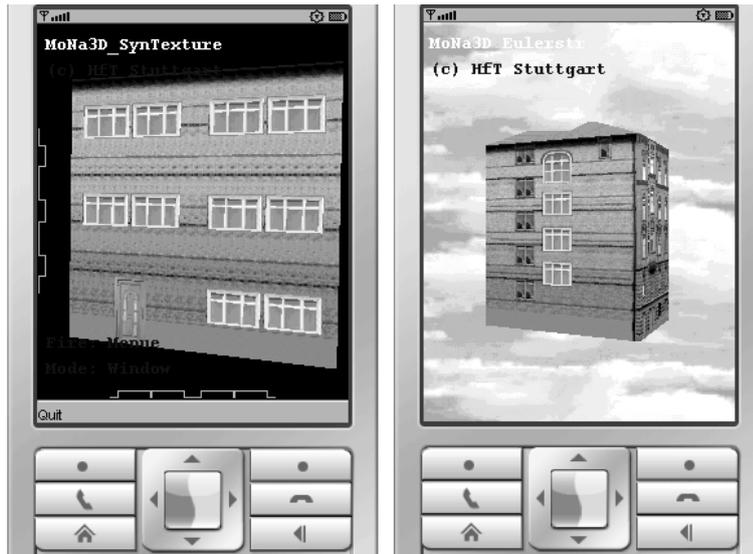


Abbildung 4: Synthetische Texturen auf dem mobilen Endgerät

Dass in der linken Abbildung im Bereich der Tür keine Fenster zu sehen sind liegt an einer internen Prioritätenverwaltung, die dafür sorgt, dass bestimmte Objekte nur vollständig gezeigt werden, also nicht von Objekten einer höheren Priorität teilweise verdeckt werden. Eine detailliertere Beschreibung dieser Fälle erfolgt im nächsten Abschnitt.

Das Produkt der Pulsfunktionen spezifiziert rechteckige Bereiche. Andere Formen, wie zum Beispiel Fenster mit Rundungen (in der rechten Abbildung am oberen Rand erkennbar), werden durch die Unterstützung von Transparenzen bei den Texturelementen und bei den Erstellungsprozessen der synthetischen Textur nutzbar.

Wie bereits erwähnt wird üblicherweise auf kein individuelles/objektspezifisches Texturelement einer Fassade zurückgegriffen. Im Katalog sind lediglich typische Klassenvertreter gespeichert. Dies reduziert den Speicherbedarf zusätzlich für die Datenhaltung und die erforderliche Bandbreite der Übertragungsnetze im verteilten Betrieb. Für die Erstellung der Texturen sind im Wesentlichen nur die Texturelementtypen mit ihren Pulsfunktionen zu spezifizieren. Ein entsprechendes Format wird im nächsten Abschnitt thematisiert.

Bei einer separierten Betrachtung der vorderen Wand auf der rechten Seite in Abbildung 4 wurde eine Phototextur von 2,2 MByte auf 40 KByte Texturelemente reduziert. Das Verhältnis verbessert sich noch einmal deutlich, wenn man berücksichtigt, dass die Texturelemente für verschiedenste Objekte im 3D-Stadtmodell verwendet werden.

Die explizite Erzeugung einer finalen synthetischen Textur kann bei Nutzung eines Grafikprozessors (Graphics Processing Unit - GPU) entfallen und das Pulsfunktionsverfahren direkt als so genannter Pixel-Shader

oder Fragment-Shader (Programme, die im Verlauf der Rendering-Pipeline ausgeführt werden) implementiert werden. Die alleinige Eingabe der Pulsfunktionen sowie die Texturbibliothek, bestehend aus bereits beschriebenen typischen Fassadenelementen, sind zur Nutzung erforderlich.

Da die Programmierung von Pixel-Shadern auf mobilen Endgeräten heute nur teilweise möglich ist, werden im Projekt MoNa 3D Prototypen mit und ohne Pixel-Shaderunterstützung erstellt und evaluiert. Die Autoren gehen jedoch davon aus, dass die Unterstützung in wenigen Jahren - wie heute schon am PC - auch auf mobilen Endgeräten Standard sein wird.

## XML-basierte Spezifikation von synthetischen Texturen

In MoNa 3D wurde ein XML-Schema entwickelt, mit dessen Hilfe die genaue Struktur von XML-Dateien zur Spezifikation von spezifischen synthetischen Texturen auf der Basis der beschriebenen Pulsfunktionen festgelegt wird. Das Schema wurde im Rahmen der Texturierung von einem Testgebiet in Stuttgart evaluiert und wird im Folgenden erstmalig näher beschrieben und in Abbildung 5 dargestellt.

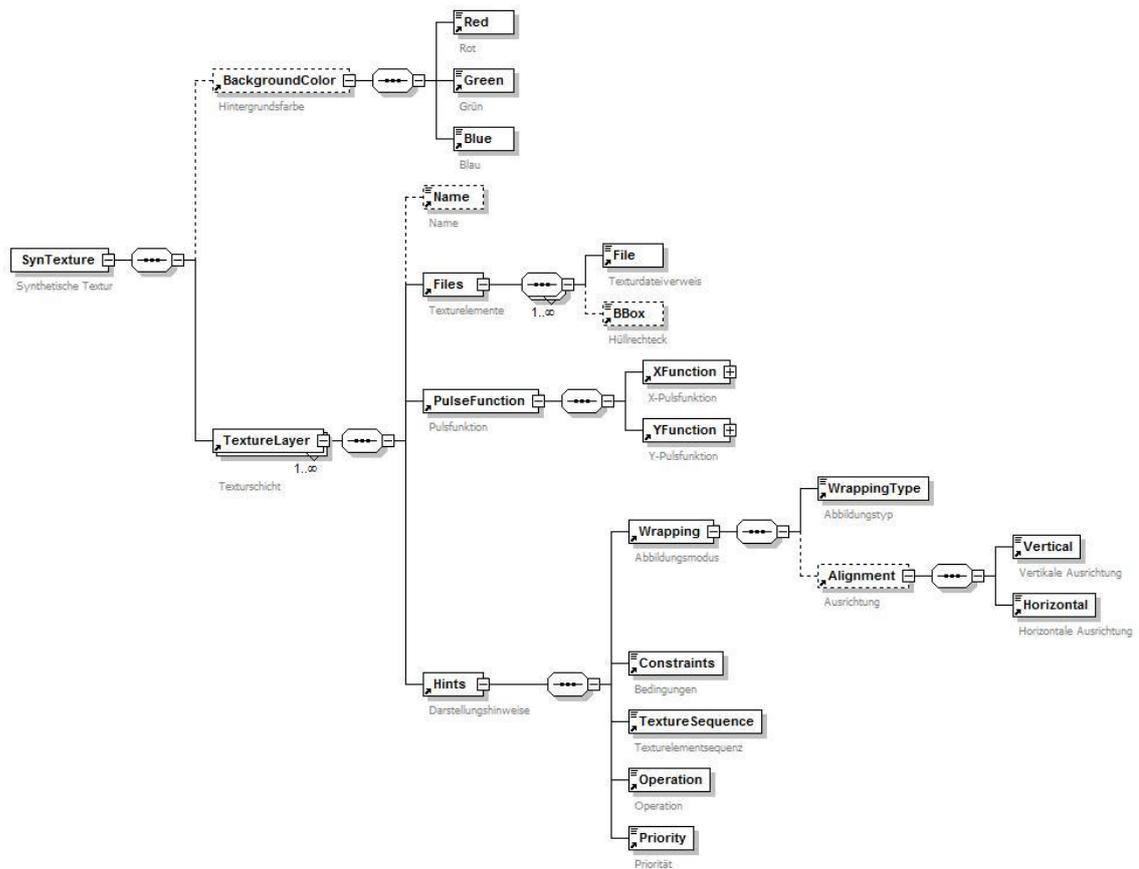


Abbildung 5: Struktur einer XML-Datei für synthetische Texturen

Eine synthetische Textur (SynTexture) besteht nach unserer Spezifikation aus einer optionalen Hintergrundfarbe (BackgroundColor) sowie einem oder mehreren Texturschichten (TextureLayer). Die Hintergrundfarbe kann hierbei ansonsten gegebenenfalls erforderliche vollständige Wandtexturbestandteile ersetzen oder im Zusammenhang mit transparenten Elementen die Anzahl erforderlicher Texturelemente in der Datenhaltung reduzieren. Die Farbe wird über den jeweiligen Rot-, Grün- und Blau-Anteil mittels Prozentangaben festgelegt.

Das Konzept der Texturschichten wurde bereits im letzten Abschnitt beschrieben. Es kann sich zum Beispiel je um eine Wand-, Fenster- und Türschicht handeln. Eine beliebige Spezifikation ist durch den Nutzer oder eine Anwendung möglich. Hierzu zählen mehrere Fensterschichten oder kombinierte Lösungen.

Jede Texturschicht besteht wiederum aus einem optionalen Namen (Name), Texturdateiverweisen (Files), der Pulsfunktionsspezifikation (PulseFunction) sowie Darstellungshinweisen (Hints). Der optionale Name erleichtert die Lesbarkeit der synthetischen Texturbeschreibung. Der Nutzer kann bei entsprechend geeigneter Namensvergabe (z.B. „Wand“) die für ihn interessanten Abschnitte/Schichten leichter identifizieren und auf Wunsch gegebenenfalls Modifikationen in diesen Bereichen vornehmen.

Die Texturdateiverweise referenzieren auf die einzelnen Texturelemente in der Texturbibliothek, wie z.B. einem Fenster, welches in einer separaten Datei abgelegt ist. Die Aufteilung ist auch hier wieder beliebig, es könnte sich unter anderem auch um Fensterabschnitte handeln. Bei Verwendung von Texturatlantanten sind zudem optionale Koordinaten (BBox) zur eindeutigen Spezifikation mit anzugeben. Es können mehrere Dateien, Verweise bzw. Abschnitte referenziert werden. Per Zufall ausgewählte oder spezifische Permutationen der Texturelemente werden nutzbar.

Die Pulsfunktion wird getrennt nach Höhen- und Breitenausrichtung angegeben (vgl. Beschreibung aus dem letzten Abschnitt). Beliebig viele Pulse können je mit Start- und Endpunkt angegeben werden. Die Angabe erfolgt in Prozent.

Abschließend bestehen die Darstellungshinweise noch aus einem Abbildungsmodus (Wrapping), Bedingungen (Constraints), einer Texturelementsequenz (TextureSequence), einer Operation sowie einer Priorität (Priority). Der Abbildungsmodus gibt an, ob das Texturelement im jeweiligen Puls wiederholt in Form von Kacheln, unverändert platziert oder auf den jeweiligen Puls skaliert dargestellt werden soll. Die Unterscheidung vereinfacht die Beschreibung. Für kleine Wandelemente, die über die ganze Texturschicht dargestellt werden sollen, müssen auf diese Weise nicht be-

liebig viele Pulse definiert werden. Die Ausrichtung (Alignment) der Elemente kann im Puls über Oben, Mitte und Unten (Vertical) sowie Links, Mitte und Rechts (Horizontal) gesteuert werden. Bei einer Skalierung ist diese Angabe nicht erforderlich, da der gesamte Puls in horizontaler und vertikaler Ausrichtung mit je einem einzelnen Textelement gefüllt wird.

Bei den Bedingungen (Constraints) wird zurzeit lediglich zwischen keine Bedingung und vollständig sichtbar unterschieden. So ist es zumeist sinnvoll auch halbe Wandtexturelemente anstelle von Löchern in der finalen synthetischen Textur darzustellen, halb sichtbare Fenster und Türen jedoch zu vermeiden. Im Besonderen in der untersten Fensterreihe gibt es häufig eine Unregelmäßigkeit bei der Fensterverteilung, da eine Tür zu berücksichtigen ist. Man könnte 2 Texturschichten mit unterschiedlichen Pulsfunktionen als Alternative für die Fenster in diesem Beispiel verwenden. Um die Beschreibung kompakt zu halten, kann der Benutzer jedoch die Bedingung vollständig sichtbar angeben. Überschneidet ein Objekt höherer Priorität, d.h. einer höher liegenden Texturschicht, das Element, dann wird es bei dieser Bedingung nicht dargestellt. Der Sachverhalt wird in Abbildung 6 illustriert, in dessen synthetischer Beispieltextrur (rechts) die Texturschicht Tür (mitte) eine höhere Priorität besitzt als die Texturschicht für Fenster (links).

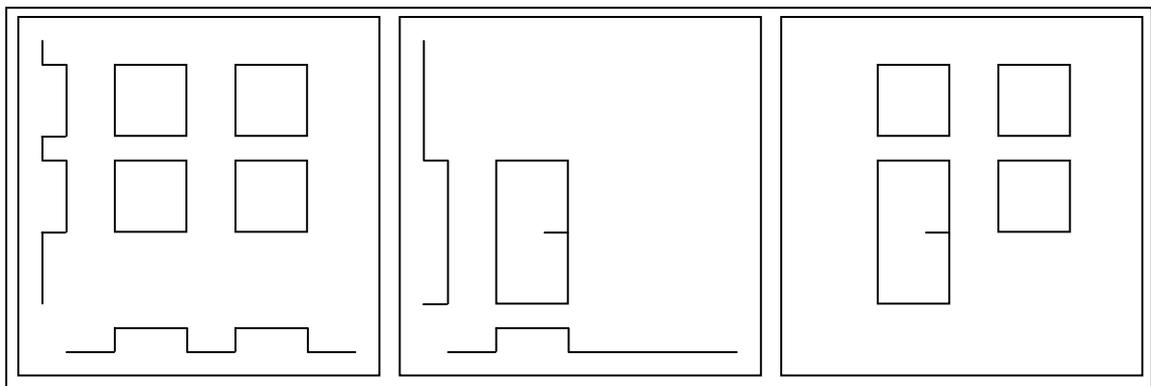


Abbildung 6: Prioritäten und Bedingungen zur Reduktion der Anzahl an Texturschichten und Pulsfunktionen

Die Textursequenz (TextureSequence) gibt an in welcher Reihenfolge die Textur Elemente aus den Texturdateiverweisen verwendet werden sollen. Es kann einfach zufällig oder aber eine spezifische Reihenfolge angegeben werden. Bei Teilspezifikationen wird die Angabe wiederholt verwendet. Ist zum Beispiel beim dritten Puls erstmalig keine Angabe verfügbar, so wird die erste Angabe erneut genutzt.

Die Operation gibt zudem noch an, was mit der Textur bei einem Puls passieren soll. Es wurden zurzeit neben Platzhaltern lediglich eine Addition und Subtraktion DV-technisch umgesetzt. Bei der Addition werden die

Texturelemente genutzt, wenn die Pulsfunktion 1 ist, bei der Subtraktion hingegen wenn die Funktion 0 ist.

Die Angaben wie z.B. die Parameter der Pulsfunktion erfolgen in Prozent. Auf diese Weise ist die Beschreibung der synthetischen Textur unabhängig von der resultierenden Texturgröße. Die Beschreibung kann somit im mobilen Kontext aber auch im stationären Umfeld unverändert genutzt werden. Der Einsatz des Abbildungsmodus unverändert platzieren ist dabei mit Bedacht zu wählen (zum Beispiel zum Platzieren eines Firmenlogos als Copyrightverweis).

Die Abbildung 7 zeigt zur Verdeutlichung ein kleines Beispiel der Beschreibung einer synthetischen Textur für eine Gebäudewand mit Schichten für Rückwand, zwei Fensterarten und eine Tür in MoNa 3D sowie das resultierende Ergebnis.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
- <SynTexture>
- <TextureLayer>
  <Name>Wall</Name>
  - <Files>
    <File>wall.png</File>
  </Files>
  - <PulseFunction>
    - <XFunction>
      - <X>
        <Left>0.0</Left>
        <Right>1.0</Right>
      </X>
    </XFunction>
  - <YFunction>
    - <Y>
      <Left>0.0</Left>
      <Right>1.0</Right>
    </Y>
  </YFunction>
</PulseFunction>
- <Hints>
  - <Wrapping>
    <WrappingType>Full</WrappingType>
  </Wrapping>
  <Constraints>None</Constraints>
  <TextureSequence>0</TextureSequence>
  <Operation>Add</Operation>
  <Priority>0</Priority>
</Hints>
</TextureLayer>
...
</SynTexture>
```



Abbildung 7: Beispiel einer synthetischen Texturbeschreibung

## Erfassung einer synthetischen Texturbeschreibung

Auch wenn die Lesbarkeit der XML-Dateien gewährleistet und eine Einteilung des Gesehenen in Schichten leicht möglich ist, fällt es Nutzern oftmals schwer auf Anhieb, dass heißt ohne größeren Rechenaufwand und Messungen, die richtigen Werte für unter anderem die Pulsfunktionen zu spezifizieren. Zu diesem Zweck wird in MoNa 3D eine mobile Anwendung entwickelt, die es dem Anwender vor Ort, wenn beispielsweise direkt eine reale Fassade eines Gebäudes abgebildet werden soll, ermöglicht, auf seinem mobilen Endgerät intuitivere Parameterwertvorgaben treffen zu können.

Für jede Schicht der synthetischen Textur können verschiedenste Parameter zur Erzeugung der resultierenden Textur spezifiziert werden.

Bei Fenstern kann die Anzahl der Reihen, die Anzahl der Fenster pro Reihe, die Gruppierung (so können mehrere Fenster näher beieinander liegen) sowie die Texturelemente (auch zufällig) angegeben werden. Bei einer Tür hingegen gibt der Benutzer an, ob diese vorhanden ist, wo sie sich befindet und selektiert ebenfalls das Texturelement. Bei der Rückwand kann eine Hintergrundfarbe oder ein Texturelement spezifiziert werden.

Die Nutzung dieser Anwendung nutzt das Potential der XML-Beschreibung bei weitem nicht komplett aus. Die Autoren erhoffen sich jedoch sehr viele Fälle bei der Datenerfassung durch die stark vereinfachte Eingabemethode abzudecken. Neben der mobilen Lösung steht auch eine Servlet-Lösung für die Nutzung am PC bereit.

Die Eingabeparameter werden zur Erzeugung der spezifischen Pulsfunktionen und der damit verbundenen XML-Beschreibung verwendet. Zurzeit wird der Funktionsumfang der Eingabeunterstützung an einem Stadtgebiet von Stuttgart evaluiert. Als ein erstes Ergebnis wird hier ein Abstand zum Fassadenrand bei Fenstern aktuell integriert.

In MoNa 3D wird zudem eine semiautomatische Lösung zur Spezifikation der synthetischen Texturbeschreibung entwickelt. Diese Anwendung wird im Rahmen des Kontrollprozesses eingesetzt werden. Der Einsatz der mobilen Lösung mit Testdaten wird in Abbildung 8 gezeigt.

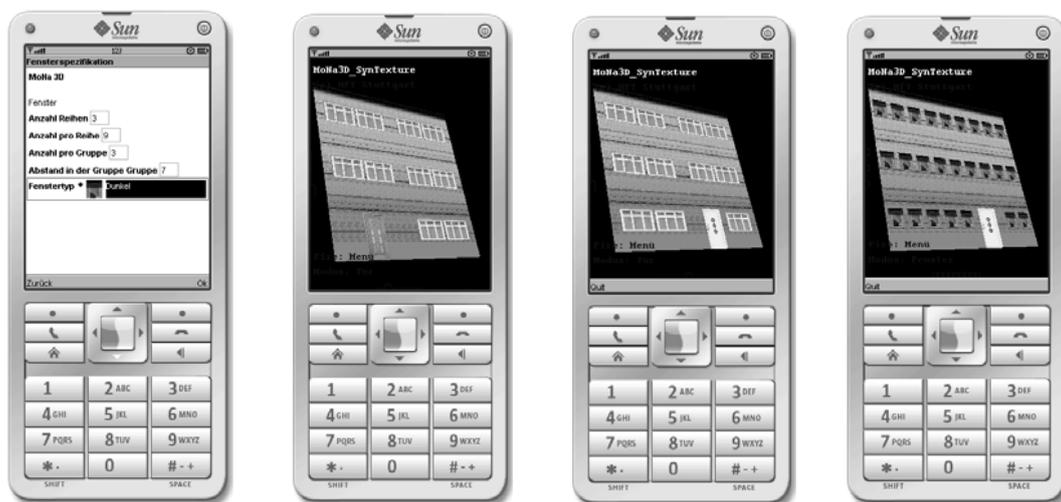


Abbildung 8: Mobile Erfassung und Evaluierung der synthetischen Texturbeschreibung

## **FAZIT / AUSBLICK**

In diesem Beitrag wurden zwei Konzepte vorgestellt, um mobile Navigationssysteme auch auf der letzten Meile nutzen zu können. Landmarkenbasierte Wegbeschreibungen werden dabei für intuitivere Anweisungen genutzt, synthetische Texturen hingegen für die kostengünstige Erfassung sowie kompakte Speicherung und effiziente Nutzung von Gebäudefassaden. Zusammen werden diese beiden Komponenten nach Meinung der Autoren zu einer optimierten Orientierung des Nutzers führen, was in einer abschließenden Evaluierung überprüft werden wird. Aktuell werden die vorgeschlagenen Komponenten in prototypische Navigationssysteme integriert, die auf Geodaten und Web3D-Diensten basieren, welche den Zugriff auf die 3D-Stadtmodelle ermöglichen. Entsprechende Screenshots von MoNa3D-Prototypen wurden gezeigt.

## **REFERENZEN**

- Aslan, I., F. Xu, J. Steffen, H. Uszkorei, A. Krüger (2005). "COMPASS2008" In: INTETAIN 2005, LNAI, Springer.
- Baus, J., R. Wasinger Aslan, I., Krüger, A., Maier, A., Schwartz, T. (2007). "Auditory Perceptible Landmarks in Mobile Navigation." In: Proceedings of IUI 2007, ACM Press.
- Blechschiemied, H., V. Coors, M. Eitz (2005). „Interaction and Visualisation of 3D City Models for Location-based Services." In Zlatanova, S. D. Prospero (Eds.). Large-scale 3D Data Integration – Challenges and Opportunities, CRC Press, Taylor & Francis, 111-130.
- Coors, V. (2008). "Synthetic Textures for 3D Urban Models in Pedestrian Navigation." Branki et al.: Techniques and Applications for mobile Commerce, Proceedings of TAMoCo 2008, IOS Press, 46-53.
- Coors, V., C. Elting, C. Kray, K. Laakso (2005). "Presenting Route Instructions on Mobile Devices – From Textual Directions to 3D Visualization." In: Dykes, J., A. MacEachren and et al. (Eds.). Exploring Geovisualization, Amsterdam: Elsevier, 529-550.
- Döllner, J. (2006). "3D-Geoinformationen, ihre Modellierung, Prozessierung und Systemintegration." Tagung der Arbeitsgruppe Automation in Kartographie, Photogrammetrie und GIS, Potsdam.
- Döllner, J., H. Buchholz, F. Brodersen, T. Glander, S. Jütterschenke, A. Klimetschenk (2005). "SmartBuildings - A Concept for Ad-Hoc Creation and Refinement of 3D Building Models." Proceedings of the 1st International Workshop of 3D City Models, EuroSDR Production.

- Ebert, D., F.K. Musgrave, D. Peachey, K. Perlin, S. Worley (2003). "Texturing and Modelling - A Procedural Approach." 3te Auflage, Morgan Kaufmann, 2003.
- Elias, B., M. Sester (2002). „Landmarken für Routenbeschreibungen.“ IFGI prints Nr. 13, Universität Münster, 383-402.
- Elias, B., V. Paelke (2007). "User-Centred Design of Landmark Visualizations." in: Meng, L., A. Zipf et al. (Eds.). Map-Based Mobile Services - Interactivity, Usability and Case Studies, Springer Berlin.
- Elvins, T., D. Nadeau, D. Kirsh (1997). "Worldlets – 3D thumbnails for wayfinding in virtual environments". In: Proceedings of the 10th annual ACM symposium on User interface software and technology, 21-30.
- Fischer, M., J. Basanow, A. Zipf (2006). "Mainz Mobile 3D - A PDA based client for the OGC Web 3D Service and corresponding server." In: 3DGeoInfo 2006. Kuala Lumpur. Malaysia.
- Früh, C., A. Zakhor (2003). „Constructing 3D City Models by Merging Ground-Based and Airborne Views." IEEE Computer Graphics and Applications 32(6). 52-61.
- Galler, I. (2002): „Identifikation von Landmarken in 3D-Stadtmodellen“, Diplomarbeit. Universität Bonn.
- Haala, N. (2005). „Laserscanning zur dreidimensionalen Erfassung von Stadtgebieten.“ In: Coors, V., A. Zipf (Hrsg.). 3D-Geoinformationssysteme - Grundlagen und Anwendungen, Wichmann Verlag, Heidelberg: 26-38.
- Hansen, S., K-F. Richter, A. Klippel (2006). Landmarks in OpenLS - A Data Structure for Cognitive Ergonomic Route Directions. In M. Raubal, H. Miller, et al. (Eds.). Geographic Information Science - Fourth International Conference, GIScience 2006, pp. 128–144, Lecture Notes in Computer Science 4197. Springer, Berlin.
- Klippel, A., S. Winter (2005). "Structural Saliency of Landmarks for Route Directions." In: Cohn, A.G.; Mark, D.M. (Eds.). Spatial Information Theory. Lecture Notes in Computer Science, 3693. Berlin, 347-362.
- Lefebvre, S., H. Hoppe (2005). "Parallel Controllable Texture Synthesis." SIGGRAPH 2005: 777- 786.
- Lovelace, K., M. Hegarty, D. Montello (1999). "Elements of Good Route Directions in Familiar and Unfamiliar Environments." In: Freska, C., D. Mark (Eds.). Spatial Information Theory, Proceedings COSIT 1999, Springer: 65-82.

- Michon, P., M. Denis (2001). „When and Why Are Visual Landmarks Used in Giving Directions?” In: Montello, D. (Ed.). Spatial Information Theory, Proceedings COSIT 2001, Springer: 292-305.
- Müller, P., P. Wonka (2006). “Procedural Modeling of Buildings.” ACM SIGGRAPH 2006: 614-623.
- Neis, P., A. Schilling, A. Zipf (2007). “3D Emergency Route Service (3D-ERS) based on OpenLS Specifications.” In: GI4DM 2007. 3rd Int. Symp. on GI 4 Disaster Management. Toronto.
- Neubauer, S., A. Zipf (2007). “Suggestions for Extending the OGC Styled Layer Descriptor (SLD) Specification into 3D – Towards Visualization Rules for 3D City Models.” In: Urban Data Management Symposium. UDMS 2007. Stuttgart.
- Nurminen, A. (2006). “m-LOMA - a mobile 3D city map.” Proc. Web3D 2006, ACM, 7-18.
- Oulasvirta, A., A-M. Nivala, V. Tikka, L. Liikkanen, A. Nurminen (2005). „Understanding users’ strategies with mobile maps.” Mobile Maps 2005 Workshop, in conjunction with Mobile HCI 2005, 19th September, Salzburg, Austria.
- Parish, Y.I.H., P. Müller (2001). “Procedural Modeling of Cities.” ACM SIGGRAPH 2001: 301-308.
- Peters, D., K-F. Richter (2007). “Enhancing Wayfinding Abilities in a Large-Scale Virtual City by Schematization.” In Florian Probst, Carsten Keßler (Eds.). GI-Days 2007 - Young Researchers Forum (Proceedings of the 5th Geographic Information Days), Vol. 30, pp. 257–260, IfGI prints. Institut für Geoinformatik, Münster. Short Paper.
- Raubal, M., S. Winter (2002). “Enriching Wayfinding Instructions with Local Landmarks.” In: Egenhofer, M., M. David (Eds.). Geographic Information Science. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 2478. Springer, Berlin, 243-259.
- Richter, K.F., M. Tomko, S. Winter (2008). “A Dialog-Driven Process of Generating Route Directions.” In Computers, Environment and Urban Systems. accepted for publication.
- Richter, K., A. Klippel (2005). “A Model for Context-Specific Route Directions.” In Freksa, C., M. Knauff et a.(Eds.). Spatial Cognition IV. Reasoning, Action, Interaction: International Conference Spatial Cognition 2004, 58–78. Springer, Berlin.
- Rukzio, E., A. Schmidt, A. Krüger (2005). “The\_Rotating\_Compass: [A Novel Interaction Technique for Mobile Navigation](#)”. In:

CHI '05: Extended abstracts of the 2005 conference on Human factors and computing systems, Portland , Oregon , USA.

Schilling A., V. Coors, K. Laakso (2004). "Dynamic 3D Maps for Mobile Tourism Applications." In: Meng, L., T. Reichenbacher et al. (Eds.). Map-based Mobile Services - Theories, Methods and Implementations. Springer.

Seiler, S. (2004). „Informationstheoretische Berücksichtigung von Landmarken unter besonderer Berücksichtigung ihrer Sichtbarkeit“. Diplomarbeit. Universität Bonn, 2004

Städtetag NRW (2004). „3D-Stadtmodelle – Eine Orientierungshilfe für die Städte in NRW.“

Steck, S.D., H.A. Mallot (2000). „The role of global and local landmarks in virtual environment navigation.“ Teleoperators 9, 69-83

Tversky, B., P. Lee (1999). "Pictorial and Verbal Tools for Conveying Routes." In: Freska, C., D. Mark (Eds.). Spatial Information Theory, Proceedings COSIT 1999, Springer: 51-64.

Vande Velde, Linde (2005). "Tele Atlas 3D navigable maps." In: Gröger und Kolbe (Eds.). Proc. 1st int. Workshop on Next generation 3D City Models, Bonn 2005, EuroSDR Publication: 47-50.

Wasinger, R., A. Krüger, O. Jacobs (2005). "Integrating Intra and Extra Gestures into a Mobile and Multimodal Shopping Assistant." In: Proc. of the 3rd International Conference on Pervasive Computing.

Winter, S. (2003). "Route Adaptive Selection of Salient Features." In: Kuhn, W., M. Worboys et al. (Eds.). Spatial Information Theory. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 2825. Springer, Berlin, 320-334.

Zipf, A., K-F. Richter (2002). "Using Focus Maps to Ease Map Reading. Developing Smart Applications for Mobile Devices." In: Künstliche Intelligenz (KI) 04/2002, 35-37.

Zipf, A. (2003). "Zur Bestimmung von Funktionen für die personen- und kontextsensitive Bewertung der Bedeutung von Geoobjekten für Fokuskarten." AGIT 2003. Salzburg.

Zipf, A., J. Basanow, P. Neis, S. Neubauer, A. Schilling (2007). „Towards 3D Spatial Data Infrastructures (3D-SDI) based on Open Standards - experiences, results and future issues.“ "3D GeoInfo07". Delft. Niederlande.