

Konzepte für die Generalisierung von 3D-Gebäudemodellen

ABSTRACT

In this paper, we present two concepts in the context of abstract visualization of virtual 3D city models. Our first concept is an approach for the automatic creation of a generalized 3D city model. To accomplish this, the city model components are mapped to a cell structure derived from a given infrastructure network. For each cell, the weighted average height of the contained components is calculated and used to create generalized cell geometry. Significant components, e.g., landmarks, are handled in a special way. This approach implements the generalization operators grouping, aggregation and emphasis. Our second concept is concerned with an emphasizing visualization of landmarks in virtual 3D city models. These are scaled depending on the distance, making landmarks visible from large camera distances as they overtop their neighborhood. While approaching, their size is dynamically adapting, until they will reach their original size.

ZUSAMMENFASSUNG

Es werden zwei Konzepte vorgestellt, die sich mit der abstrakten Darstellung von virtuellen 3D-Stadtmodellen befassen. Das erste Konzept beinhaltet einen Ansatz für die automatische Erzeugung eines generalisierten 3D-Stadtmodells vorgestellt. Dabei wird zu gegebenen Netzdaten, z.B. Straßensysteme, eine Zellstruktur abgeleitet; die Stadtmodellkomponenten werden den Zellen zugeordnet. Für jede Zelle wird die gewichtete Durchschnittshöhe der enthaltenen Komponenten bestimmt, mit deren Hilfe eine generalisierte 3D-Geometrie der Zelle generiert wird. Bei diesem Vorgang werden herausragende Komponenten, wie z.B. Landmarken, besonders berücksichtigt. Insgesamt werden mit diesem Ansatz die Generalisierungsoperatoren Gruppierung, Aggregation und Betonung implementiert. Das zweite Konzept befasst sich mit der hervorgehobenen Darstellung von Landmarken in virtuellen 3D-Stadtmodellen. Diese signifikanten Objekte räumlicher Umgebungen werden entfernungsabhängig skaliert, so dass Landmarken schon aus großer Entfernung in der perspektivischen Darstellung sichtbar sind, indem sie aus ihrer Umgebung herausragen. Beim Annähern an die jeweilige Landmarke passt sich ihre Darstellung dynamisch an, bis sie ihre ursprüngliche Geometrie wieder einnimmt.

1 Einführung

Komplexe virtuelle 3D-Stadtmodelle werden zunehmend in IT-Systemen und Anwendungen eingesetzt, da sie vielschichtige räumliche Informationen kompakt repräsentieren und zugleich eine effektive Benutzungsschnittstelle zu diesen Informationen bereitstellen. Allgemein bekommt Geovisualisierung [7] wachsende Aufmerksamkeit in der breiten Öffentlichkeit, da Programme wie GoogleEarth, Microsoft Virtual Earth oder SecondLife auf der Metapher der geovirtuellen Umgebung beruhen. Momentan liegt in diesen Anwendungen der Fokus auf der photorealistischen Darstellung von virtuellen 3D-Landschafts- und Stadtmodellen. Die Anwendungsfelder liegen allgemein in den Bereichen Stadt- und Landschaftsplanung, Standortmarketing, Tourismus, Immobilien- und Liegenschaftsmanagement, Zivile Sicherheit, Desastermanagement u.a.

Die stetige Weiterentwicklung bei den Erfassungstechniken für z.B. Luftbilder, Schrägbilder, 3D-Scans führt zu immer detaillierteren virtuellen 3D-Stadtmodellen. Mit deren wachsenden Komplexität entstehen fundamentale Probleme bei deren Visualisierung:

- Die Wahrnehmung großflächiger, detaillierter Stadtmodelle erfordert die bewusste Aufmerksamkeit des Betrachters – für eine intuitive und präattentive Wahrnehmung gibt es im Bild meist zu viele und zu uneinheitliche Objekte.
- Die perspektivische Darstellung führt dazu, dass von der Kamera entfernte Stadtmodellbereiche sehr klein dargestellt werden. Durch die begrenzte Auflösung des Displays und schließlich der menschlichen Wahrnehmung können deshalb entfernte Objekte nicht mehr differenziert bzw. erkannt werden, so dass deren Darstellung begrenzten Nutzen hat.

Während eine hohe Bildkomplexität in einer photorealistischen Darstellung angemessen und wünschenswert ist, beispielsweise als Hintergrund in einem Film oder einem virtuellen Stadtrundflug, erfordern andere Anwendungen, wie z.B. Navigationssysteme oder

Touristeninformationssysteme, eine geeignet abstrahierte Darstellung. *Generalisierung* bezeichnet in den Geowissenschaften den Prozess der Ableitung abstrakter Repräsentationen von räumlichen Daten, unter der Berücksichtigung eines Maßstabes sowie des intendierten Zwecks bzw. der Aufgaben. Dieser Prozess greift dazu auf *Generalisierungsoperatoren*, wie z.B. Auswahl, Kombination, Verkleinerung, Aggregation und Betonung grafischer Repräsentationen, zurück [16].

Im Folgenden werden zwei Konzepte vorgestellt, die einen Beitrag zur Übertragung der Generalisierungsoperatoren Aggregation und Betonung auf virtuelle 3D-Stadtmodelle leisten. Ziel ist es, die Wahrnehmung perspektivischer Sichten von Stadtmodellen zu verbessern, d.h. insbesondere Einsicht in Strukturen und Hierarchien zu schaffen, die dem Stadtmodell zugrunde liegen, um so die Orientierung in 3D und die Benutzbarkeit zu erleichtern. Die beiden Konzepte wurden getrennt entwickelt und in [13] und [14] publiziert. Sie werden in einer laufenden Forschungsarbeit derzeit technisch integriert.

2 Zellbasierte Generalisierung von 3D-Gebäudemodellen

Das erste vorgestellte Konzept beschäftigt sich mit der Erzeugung von Varianten virtueller 3D-Stadtmodelle in unterschiedlichen Maßstäben (Abbildung 1). Durch diese Ableitung von sekundären Modellen wird die Speicherung, Analyse, Exploration und Interaktion auf verschiedenen Maßstabsebenen ermöglicht.

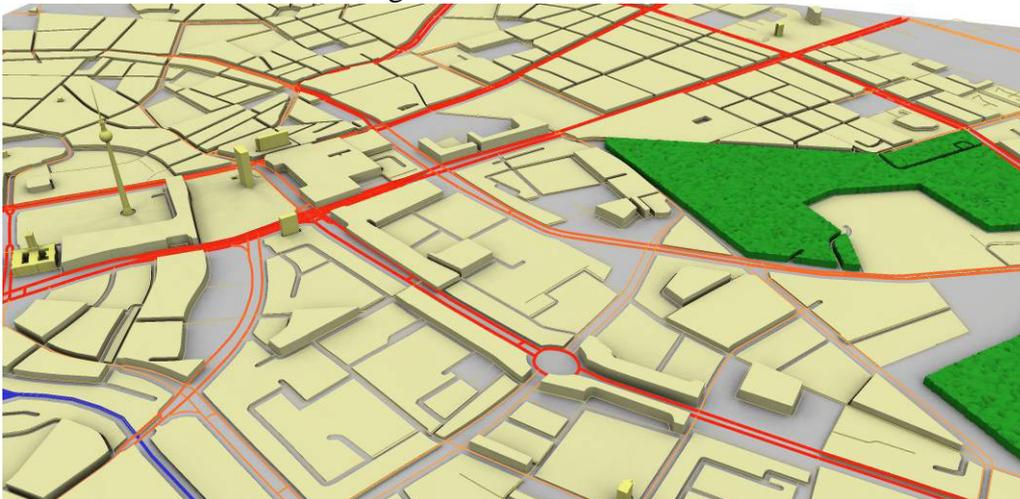


Abbildung 1: Ergebnis einer beispielhaften Anwendung der zellbasierten Generalisierung auf das Stadtmodell von Berlin.

2.1 Bisherige Ansätze

Meng und Forberg geben einen Überblick über den aktuellen Entwicklungsstand und die Herausforderungen der 3D-Gebäudegeneralisierung. Sie beschreiben den Maßstabsraum von 3D-Gebäuden als ein lineares Kontinuum mit einer Anzahl von Meilensteinen, die *levels of detail* (LOD) genannt werden [25].

Im Bereich der klassischen Karten gibt es eine Reihe von automatischen Generalisierungstechniken, z.B. [16,17,28,29]. Für 3D-Gebäudegeneralisierung wurden zunächst morphologische Operationen eingesetzt [24]. In einem ähnlichen Verfahren werden zur Geometriereduktion nahe parallele Flächen angenähert und vereinigt, was jedoch auf orthogonale Flächen beschränkt ist [10]. Ein weiterer Ansatz für die automatische Gebäudegeneralisierung wird in [26] beschrieben. Verfahren, die die Gebäudegeometrie approximieren, sind entweder CSG-basiert [31] oder modellieren das Gebäude einschließlich der Dachform mit wenigen Ebenen, die so ausgewählt werden, dass sie sich dem Gebäude optimal annähern [19]. Ein Vorschlag zur Vereinfachung und Aggregation mehrerer Gebäude durch Projektion funktioniert nur für lineare Gebäudegruppen [1].

Die 3D-Computergrafik benötigt ebenfalls Vereinfachungstechniken für die effiziente Behandlung von polygonaler 3D-Geometrie. In diesem Bereich wurden eine Reihe von LOD Techniken entwickelt, die sich grob in statische und dynamische Techniken einteilen lassen. Statische Techniken erzeugen diskrete LOD Repräsentationen (z.B. [15,21]), während dynamische Techniken die polygonale Oberfläche der 3D-Objekte unter Berücksichtigung der aktuellen Sichtverhältnisse simplifizieren (z.B. [18]). Allgemein vereinfachen alle Techniken die ursprünglichen hochauflösten 3D-Objekte so, dass deren Erscheinung beibehalten wird. Dagegen werden sie nicht im oben genannten Sinne generalisiert und berücksichtigen nicht die spezifische Semantik und die Charakteristika des Typs des zu vereinfachenden 3D-Objekts.

2.2 Verfahren zur zellbasierten Generalisierung

Unser Generalisierungsverfahren ist zweistufig. Zunächst wird das Stadtgebiet anhand eines Infrastrukturnetzes in Cluster zerlegt. Die Verwendung dieses Netzes liegt darin begründet, das Infrastruktur eines der bedeutendsten Kriterien einer logischen Dekomposition des urbanen Raumes darstellt, da es eng an die tatsächliche Nutzung des Stadtraumes gekoppelt ist. Denkbar wären ebenfalls historische oder administrative Grenzen der Stadtteile. Das Infrastrukturnetz definiert allerdings zusätzlich Gewichte, die den Straßen zugewiesen sind, und damit implizit eine Hierarchie, die zur Erzeugung von generalisierten Repräsentationen unterschiedlichen Maßstabs verwendet werden können.

2.2.1 Cluster-Bildung

Um Gebäudemodelle anhand der Infrastruktur zu gruppieren, werden in einem ersten Schritt die einzelnen Kantenzüge des Netzes miteinander geschnitten, um polygonale Zellen zu erhalten. Dieser Vorgang wird als *noding* (GEOS Bibliothek, siehe geos.refractory.net) oder Berechnung des *arrangements* (CGAL Computational Geometry Algorithms Library, siehe www.cgal.org) bezeichnet. Im zweiten Schritt werden die Gebäudemodelle den sie enthaltenden Zellen zugeordnet.

Im ersten Schritt können die assoziierten Gewichte der Kantenzüge verwendet werden, um eine Zellstruktur unterschiedlicher Granularität zu erzeugen. Als Steuergröße führen wir den Grad der Generalisierung (*degree of generalization, DOG*) ein. In der Computergrafik wird der Detailgrad üblicherweise als *level of detail (LOD)* beschrieben, mit dem Fokus auf Einzelobjekte und dem Ziel der Reduktion der Berechnungslast bei der Darstellung. Dagegen steht für uns die Komplexitätsreduktion für schnellere und einfachere Perzeption im Vordergrund.

Über den gegebenen DOG können unterschiedliche Mengen der Straßen je nach Gewicht zur Zellkonstruktion verwendet werden. Beispielsweise führt ein höherer Wert für den Generalisierungsgrad (DOG) zu größeren Zellen, da niedriger gewichtete Straßen weggelassen werden.

Für die Erzeugung der Zellen (*arrangements*) wird die Softwarebibliothek CGAL verwendet. Als Resultat können die Zellen abgefragt werden (Abbildung 2).



Abbildung 2: Das Generalisierungsverfahren nutzt als Eingabe Infrastrukturdaten (links) und erzeugt daraus in einem Zwischenschritt polygonale Zellen (rechts).

Im zweiten Schritt werden die Gebäude einer Zelle gruppiert. Dazu werden Punktabfragen durchgeführt: Für jedes Gebäude wird dessen Mittelpunkt gegen die Zellen getestet und, falls enthalten, der Zelle zugeordnet.

Das Ergebnis der Clustering-Stufe ist eine Menge von polygonalen Zellen, die durch das Infrastrukturnetz definiert wurden, sowie pro Zelle eine Menge von enthaltenen Gebäudenmodellen.

2.2.2 Generalisierung der 3D-Gebäudemodelle

In der zweiten Stufe des Verfahrens wird die 3D-Geometrie der enthaltenen Modelle durch Aggregation generalisiert. Die entstehenden Blöcke enthalten keine Frei-, Grünflächen oder angrenzende Straßenbereiche. Um diese Flächen zu berücksichtigen, werden die als Polylinien gegebenen Straßen entsprechend ihres Gewichtes gepuffert. Mit 2D Booleschen Operationen der Bibliothek CGAL werden die erzeugten Straßenpolygone von den Zellpolygonen subtrahiert.

Für die Erzeugung von 3D-Blöcken muss die Höhe pro Zelle bestimmt werden. Um die ursprünglichen Gebäudehöhen zu approximieren, berechnen wir pro Zelle die gewichtete Durchschnittshöhe, wobei Einzelhöhen je um die Grundfläche des Gebäudemodells gewichtet werden:

$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{height}(b_i) \cdot \text{area}(b_i)}{\sum_{i=1}^n \text{area}(b_i)}$$

In Zellen mit einer geringen Gebäudedichte sollte kein Block erzeugt werden. Schließlich werden die Zellen zu der berechneten Durchschnittshöhe extrudiert, um die generalisierten 3D-Zellblöcke zu bilden.

2.2.3 Behandlung von Landmarken

Die effektive Erkennung der Zellblöcke hängt auch von charakteristischen Komponenten statt, d.h. vor allem von herausragenden oder anders auffälligen Gebäuden. Diese müssen durch unser Verfahren berücksichtigt werden. Informationen zur Identifikation von Landmarken siehe auch [8].

Für unser Verfahren werden CAD-basierte Gebäudemodelle automatisch als Landmarken angenommen. Darüber hinaus werden pro Zelle Gebäude mit signifikant den Durchschnitt übersteigender Höhe als Landmarken eingestuft. Dafür berechnen wir die Varianz und die Standardabweichung σ :

$$\text{var}(h_1, \dots, h_n) = \sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2 \text{ mit } h_i = \text{height}(b_i)$$

So können Gebäude mit einer Höhe $h > \bar{h} + k \cdot \sigma$ als Landmarken eingestuft werden.

Momentan wird k manuell festgelegt, z.B. auf $k = 2$, zukünftig soll k automatisch anhand des gewählten DOG bestimmt werden.

Für die Integration der Landmarken müssen diese aus den Zellpolygonen ausgeschnitten werden, um Überschneidungen zu vermeiden. Anschließend können die Landmarkenobjekte direkt in der Szene platziert werden. Für ein homogenes Erscheinungsbild werden die Fassadentexturen verworfen, nur farblich werden die Landmarken hervorgehoben (Abbildung 3).

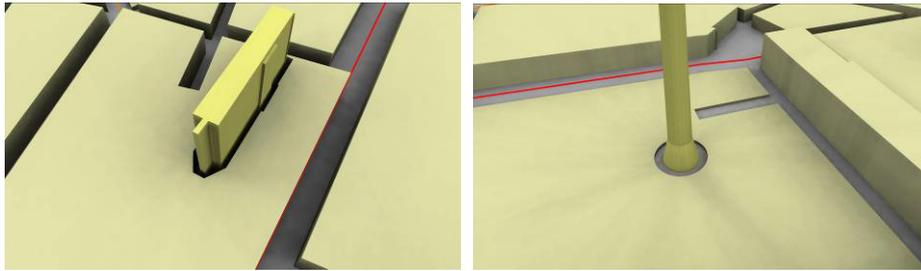


Abbildung 3: Herausragende Gebäude (links) und ausmodellerte Gebäude (rechts) werden als Landmarken behandelt und unverändert in die Blockzellen integriert.

2.2.4 Waldflächen

Waldflächen erfordern neue 3D-Geometrie. Während in photorealistischen Darstellungen auf detaillierte 3D-Pflanzenmodelle zurückgegriffen wird, wird für eine abstrakte Darstellung eine generalisierte Repräsentation benötigt, die dennoch die eindeutige Identifikation erlaubt. In Karten haben sich typische Signaturen [16] etabliert, um beispielsweise Laub- und Nadelbäume zu unterscheiden. In einer 3D-Umgebung muss die Walddarstellung zusätzlich auch die Verdeckung vermitteln. Liegen beispielsweise Gebäude hinter einem Waldstück, so muss eine Visualisierung aus Sicht der Straße diese Verdeckung berücksichtigen, da sonst die Zuordnung zwischen Realität und Abbild erschwert wird.

Unser Verfahren fügt den gegebenen Flächenpolygonen für eine Waldfläche eine gewisse Unsicherheit hinzu (Abbildung 4), indem pro Polygonsegment:

1. neue Punkte eingefügt werden, entsprechend einer gegebenen „Körnigkeit“, und
2. diese Punkte zufällig innerhalb einer Kreisfläche verschoben werden.

Dies wird für alle Kantenzüge des Polygons durchgeführt (äußere und innere Kantenzüge), so dass Polygone mit leicht „zitterigen“ Kantenverläufen entstehen. Um daraus 3D-Geometrie zu erstellen, werden die Polygone ähnlich wie die Gebäude auf eine bestimmte Höhe extrudiert (entweder gegeben oder auch die Durchschnittshöhe der enthaltenen Bäume).

Um für die Deckfläche ein organisches Äußeres zu erzeugen, gehen wir analog vor:

1. Punkte werden regelmäßig entsprechend einer „Körnigkeit“ innerhalb des Polygons verteilt.
2. Jeder Punkt wird zufällig innerhalb einer Kugel verschoben.
3. Die Punkte werden mittels *constrained delaunay triangulation* vermascht, die Kantenzüge des Polygons werden als *constraints* gesetzt.
4. Erzeugte Dreiecke außerhalb des Polygons werden verworfen.

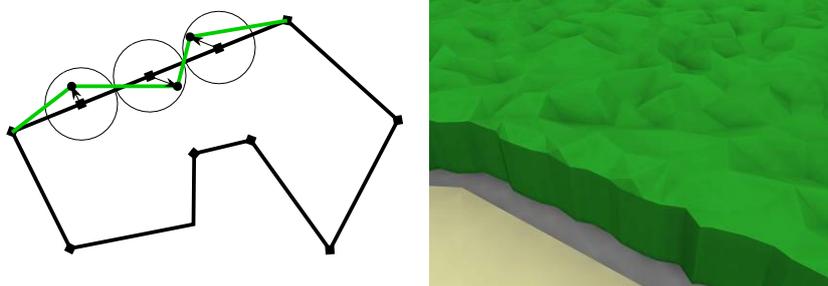


Abbildung 4: Um Waldflächen abstrakt darzustellen, werden auf deren Polygonen neue, zufällig verschobene Punkte eingefügt (links). Die Deckfläche des Extrusionsobjektes wird ebenso zufällig turbiert (rechts).

2.2.5 Ergebnis und Anwendungen

Zusammengesetzt bilden die Komponenten generalisierte Gebäudeblöcke, Landmarkenobjekte und Waldobjekte eine Darstellung, die der von Touristenstadtplänen und Vogelschaukarten recht nahekommt (Abbildung 1).

Es liegt außerdem nahe, die abstrakte Darstellung in Navigationssystemen einzusetzen, da hier die Reduktion unnötigen Detailgrades besonders wichtig ist. Im skizzierten Szenario wird eine Route vom grünen Startgebäude zum roten Zielgebäude dargestellt (Abbildung 5).

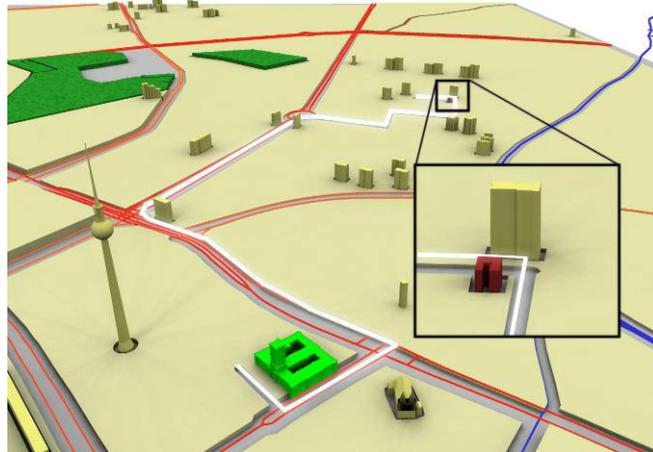


Abbildung 5: Szenario einer Routenvisualisierung: Start- und Ziel sind hervorgehoben, ebenso der Verlauf der Route.

Eine weitere Anwendung ist die automatische Erzeugung von Stadtmodellrepräsentationen unterschiedlichen Maßstabs. Durch die Gewichte, die den Straßen zugeordnet sind, lassen sich verschieden grobe Zellen berechnen und damit entstehen verschiedene Maßstabsebenen (Abbildung 6).

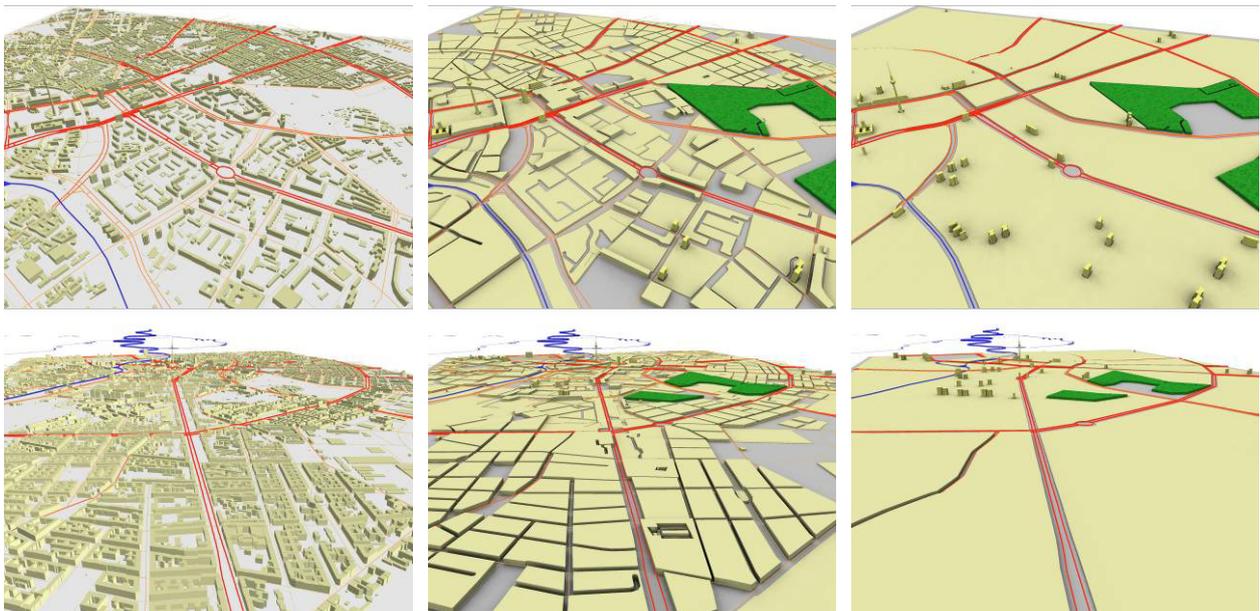


Abbildung 6: Zwei Ansichten des Stadtmodells von Berlin werden verglichen. Links: ursprüngliches Modell (ca. 17 000 Objekte). Mitte: Reduktion auf 634 Objekte. Rechts: Reduktion auf 158 Objekte.

3 Entfernungabhängige Vergrößerung von Landmarkenobjekten

Das zweite vorgestellte Konzept hebt globale Landmarken in geovirtuellen 3D-Umgebungen hervor, indem sie entfernungsabhängig vergrößert werden (Abbildung 7) [30]. Eine etwas tiefer gehende, technische Beschreibung des Konzepts ist in [14] zu finden.

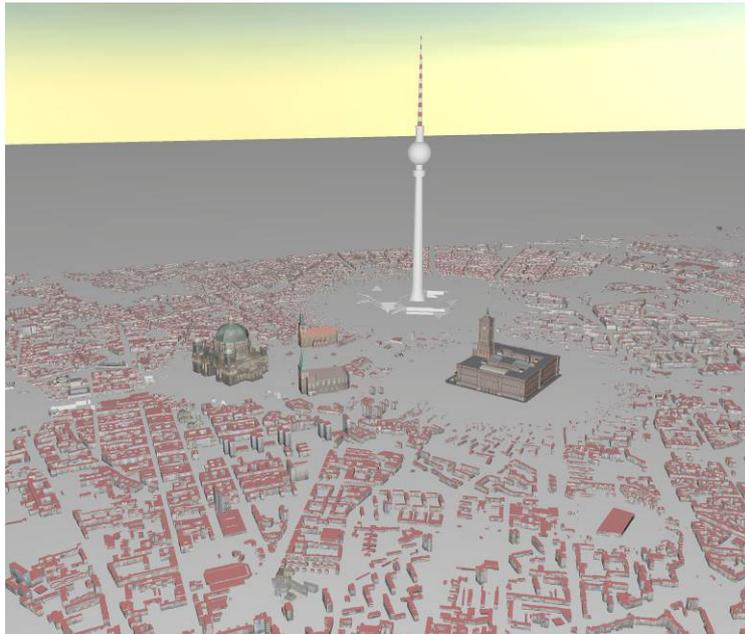


Abbildung 7: Die Landmarken wurden entsprechend ihrer Kameraentfernung vergrößert, um ihre Sichtbarkeit zu gewährleisten.

3.1 Bisherige Ansätze

Die Visualisierung von Landmarken in Karten und kartenverwandten Darstellungen ist eine große Herausforderung. In der Vergangenheit wurden verschiedene Techniken zur Hervorhebung entwickelt wie beispielsweise Symbole, Annotationen oder hybride Perspektiven [16], die sich jedoch nicht trivial auf geovirtuelle 3D-Umgebungen übertragen lassen.

Allgemeine Richtlinien für Platzierung und Darstellung von Landmarken in virtuellen Umgebungen wurden von Vinson [32] vorgeschlagen, darunter die folgenden:

- Es sollten immer Landmarken sichtbar sein, insbesondere in allen navigierbaren Maßstäben.
- Sie sollten sich von ihrer Umgebung abheben.
- Die konkreten Landmarken sollten gegenüber abstrakten Darstellungen bevorzugt werden.

Elias et al. [9] haben verschiedene grafische Landmarkenrepräsentationen von photorealistisch über ikonisch bis hin zu einfachem Text untersucht und eine Designmatrix aufgestellt, um für verschiedene Gebäudekategorien die geeignete Darstellung vorzuschlagen.

Lee et al. [22] haben Landmarken durch perspektivisch passende Photos visualisiert.

Die Vermittlung der Position von aktuell nicht sichtbaren Objekten hat Baudisch [3] durch eine Halotechnik realisiert.

Unser Konzept zur Darstellung von Landmarken kann auch in die Fokus & Kontext-Visualisierung eingeordnet werden [20]. In virtuellen 3D-Umgebungen gab es dazu in den letzten Jahren einige Arbeiten [2,11,27]. In Bezug auf Geovisualisierung sind Ansätze für 3D-Terrainlinsen zu nennen, die die Punkte des Dreiecksnetzes sichtabhängig so verzerren, dass der Vergrößerungseffekt entsteht [5,23].

3.2 Konzept zur Landmarkenvergrößerung

Zum Erkunden einer virtuellen 3D-Umgebung benötigt der Benutzer sichtbare und auffällige Orientierungspunkte [32,33]. Unser Konzept ermöglicht dies in virtuellen 3D-Stadtmodellen, indem wichtige globale Landmarken so vergrößert werden, dass der Benutzer sie auf dem Bildschirm erkennen kann. Die Vergrößerung ist entfernungsabhängig und ändert sich daher dynamisch bei der Bewegung des Benutzers in der Umgebung. Um diese Art der

Visualisierung umzusetzen, stellen sich als Hauptprobleme die Frage nach der Abhängigkeit zwischen Entfernung und Skalierung, also einer geeigneten Funktion, sowie der Umgang mit der Umgebung der vergrößerten Objekte.

Dagegen werden im Folgenden die Landmarken als gegeben angenommen, d.h. deren automatische Bestimmung wird nicht untersucht.

3.2.1 Skalierung der Landmarken

Da die Landmarken in Abhängigkeit zur Entfernung der Kamera vergrößert werden sollen, muss eine definierte Abbildung zwischen Entfernung und Skalierungsfaktor für die Vergrößerung gefunden werden. Dabei soll die Vergrößerung ab einer bestimmten Entfernung beginnen und enden, da man annehmen kann, dass Landmarken nur innerhalb eines begrenzten Raumes von Bedeutung sind.

Zur besseren Erläuterung betrachten wir zwei einfache Fälle (Abbildung 8). Bei der in der 3D-Computergrafik üblichen perspektivischen Standardprojektion wird ein Objekt der Größe $x=1$ auf der Projektionsfläche auf die x' abgebildet. Dabei hängt die projizierte Größe direkt von der Entfernung des Objektes zur Projektionsfläche ab, und zwar antiproportional, d.h. eine Verdopplung der Entfernung führt zu einer Halbierung der dargestellten Größe. Bei $x=1$ ist die projizierte Größe nur von der Entfernung d abhängig $p_1(d) = 1/d$.

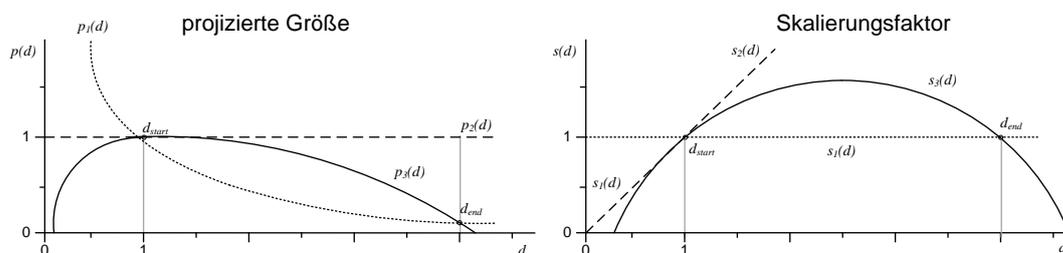


Abbildung 8: Vergleich der 3 betrachteten Fälle: Standardverhalten (gepunktet), skaliert um Entfernung (gestrichelt) und quadratisch skaliert (durchgezogen). Links zeigt die abgebildete Größe, rechts den Skalierungsfaktor.

Dies ist der Standardfall, das Objekt bleibt unabhängig zur Entfernung gleich groß. Als gedankliche Alternative könnte das Objekt um die Entfernung d skaliert werden. Dies würde zu einer konstanten projizierten Größe $p_2(d) = 1 \cdot d / d = 1$ führen (gestrichelte Linien im Graph).

Allerdings soll es möglich sein, den Vergrößerungseffekt lokal zu begrenzen. Beispielsweise ist eine kleine Kirche nur innerhalb der direkten Nachbarschaft und nicht für die ganze Stadt von Bedeutung. Um einen weichen Übergang zur ursprünglichen, unskalierten Form zu erzielen, verwenden wir als Skalierungsfaktor statt dem linearen Abstand eine quadratische Funktion mit dem Anstieg 1 bei der Startentfernung. Der Vergrößerungseffekt gilt bis zur Endentfernung d_{end} , ab der der Skalierungsfaktor wieder unter 1 fällt.

Da die quadratische Funktion nur von dem fest gegebenen Gültigkeitsintervall abhängt, können die Koeffizienten der Funktion vorberechnet und pro Landmarke gespeichert werden. Zur Laufzeit wird mit der aktuellen Entfernung der Skalierungsfaktor berechnet.

3.2.2 Verdrängung der Umgebung

Die Skalierung der Landmarken allein würde zu Überschneidung mit umgebenden Objekten führen. Zur Vermeidung können diese entweder verschoben oder weggelassen werden. Da die Vergrößerung in Echtzeit für jedes Bild (*frame*) neu berechnet wird, muss auch die Verdrängung in Echtzeit erfolgen. Unser Ansatz unterscheidet hier zwischen anderen Landmarken und „gewöhnlichen“ Gebäuden.

Andere Landmarken dürfen höchstens verschoben werden. Für die gegenseitige Verdrängung wurden z.B. Lösungen auf Grundlage von *simulated annealing* [34], Feder-Masse-Modellen [4] und Kleinste-Quadrate-Optimierung [28] entwickelt.

Für unser erstes Konzept verwenden wir ein naives Federmodell ohne Masse, in dem überlappende Objekte sich gegenseitig abstoßen. Dieses Modell wird für alle Landmarkenobjekte iterativ angewendet, bis keine Verschiebung mehr auftritt oder eine maximale Iterationszahl erreicht wird. Für eine geringe Zahl von gleichzeitig sichtbaren Landmarken (z.B. 10) ist die Berechnung ausreichend schnell, d.h. garantiert Echtzeitdarstellung.

Für „gewöhnliche“ Gebäude ist die Erhaltung von Position und Größe in unserem Visualisierungskonzept weniger bedeutend, da sie als unterscheidbare Einzelobjekte für die Orientierung nur untergeordneten Nutzen haben. Darüber hinaus ist das verwendete Federmodell für eine große Anzahl von Objekten zu aufwendig. Stattdessen werden alle Nicht-Landmarken radial verdrängt und verkleinert. Dies entspricht einer Anwendung der Verzerrungslinsen (*distortion lenses*) auf Stadtmodelle [5,6]. Um den Verzerrungseffekt lokal zu begrenzen, definieren wir eine kreisförmige Verzerrungszone, deren Radius doppelt so groß ist, wie der Umkreis der Landmarke. Innerhalb der Verzerrungszone werden Objekte radial nach außen verschoben und umgekehrt linear verkleinert. Beispielsweise werden Objekte nahe dem Zentrum stark verkleinert oder weggelassen, und werden zum Rand hin größer.

Dadurch wird der Linseneffekt weich im Stadtmodell integriert, während bei einer direkten linearen Verkleinerung am Rand Diskontinuitäten und damit Popping-Artefakte entstünden. Weitere technische Details finden sich in [14].

3.3 Ergebnisse und Probleme

Unser Konzept vergrößert die Landmarken deutlich im Vergleich zur Standarddarstellung. Entsprechend verbessert sich deren Sichtbarkeit, und es wird damit möglich, sie als globale Landmarken zur Navigation und Orientierung im Stadtmodell zu nutzen. Insbesondere in flachen Perspektiven wird der Horizont durch charakteristische Landmarken ergänzt (Abbildung 9).



Abbildung 9: Vergleich: In der Standarddarstellung (links) sind Landmarken kaum zu erkennen, dagegen sind sie nach der automatischen Vergrößerung deutlich sichtbar (rechts).

Allerdings führt die radiale Verdrängung in der Vogelperspektive zu deutlich sichtbaren Kreisen, ebenso wie freien Flächen um die Landmarken (Abbildung 7: Ansicht der vergrößerten Landmarken). Dies wurde von Benutzern als irritierend empfunden. Alternativ könnte die Verdrängung anhand eines besser approximierenden Hüllenpolygons der Landmarkenobjekte (z.B. konvexe Hülle) erfolgen. Ein weiteres Problem ist momentan das Federmodell, das durch kleine Positionssprünge auffällt. Schließlich können bei dem momentanen Deformationsmodell Überschneidungen bei Nicht-Landmarken auftreten. Insgesamt jedoch eignet sich die Grundidee gut für die Hervorhebung von Landmarken in virtuellen 3D-Stadtmodellen. Zukünftig werden wir alternative Verdrängungs- und

Skalierungsfunktionen ausprobieren und neben Gebäuden auch alle anderen Stadtmodellkomponenten (z.B. Gelände, Luftbild, Straßen) in die Deformation einbeziehen.

4 Fazit und Ausblick

Die Verbreitung virtueller 3D-Stadtmodelle nimmt weiter zu und wird in naher Zukunft eine fast vollständige Abdeckung erreicht haben. Die vorgestellten Ansätze zeigen, dass diese Stadtmodelle über die photorealistische Darstellung hinaus genutzt werden können. Es ist insbesondere lohnenswert, nicht nur die geometrisch korrekte und realitätsgetreue Abbildung der Stadt anzustreben, sondern aufgabenspezifisch eine verständlichere und lesbarere Darstellung zu bevorzugen. Damit können aufwendig erfasste 3D-Stadtmodelle auch für weitere Anwendungsbereiche, wie z.B. Fahrzeug- und Fußgängernavigation, erschlossen werden.

Durch die interaktiv und stufenlos veränderbare Perspektive besteht bei virtuellen 3D-Stadtmodellen ein fundamentaler Unterschied zur klassischen Kartendarstellung, da hier grundsätzlich ein kontinuierlicher Maßstab benötigt wird. Wir werden zunächst an Übergangstechniken für die zellbasierte Generalisierung arbeiten, die dynamisch in Abhängigkeit der Kameraentfernung zwischen vorberechneten Generalisierungsrepräsentationen umschalten bzw. überblenden.

Auch die vorgestellte Vergrößerung der Landmarken werden wir in diese Darstellung integrieren. Dabei wird es weiterhin interessant sein zu untersuchen, inwiefern sich das Konzept auf wichtige Flächen (*regions of interest*, ROI) und deren Hervorhebung übertragen lässt.

Danksagung

Diese Arbeit wurde unterstützt durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen der InnoProfile Forschungsgruppe "3D Geoinformation" (www.3dgi.de).

Literatur

1. K.-H. Anders, *Level of Detail Generation of 3D Building Groups by Aggregation and Typification*. Proc. 22nd International Cartographic Conference, La Coruña, Spain, 2005.
2. D. Baar, *Questions of Focus: Advances in Lens-based Visualizations for Intelligence Analysis*, 2005.
3. P. Baudisch, R. Rosenholtz, *Halo: a Technique for Visualizing Off-Screen Locations*, Proceedings of the ACM SIGCHI conference on Human factors in computing systems, 2003, 481-488.
4. J. Bobrich, *Ein neuer Ansatz zur kartographischen Verdrängung auf der Grundlage eines mechanischen Federmodells*, Ph.D. Thesis, Vol. C 455, Deutsche Geodätische Kommission, München, 1996.
5. M. S. T. Carpendale, D.J. Cowperthwaite, F.D. Fracchia, *Distortion Viewing Techniques for 3-dimensional Data*, Information Visualization, 1996.
6. S. Carpendale, J. Light, E. Pattison, *Achieving Higher Magnification in Context*, Proceedings of the 17th annual ACM symposium on User interface software and technology, Santa Fe, 2004, 71-80.
7. J. Dykes, A. MacEachren, M.-J. Kraak, *Exploring Geovisualization*, Chapter 14, Elsevier Amsterdam, 2005, 295-312.
8. B. Elias, *Determination of Landmarks and Reliability Criteria for Landmarks*, Proceedings 5th Workshop on Progress in Automated Map Generalization, 2003.

9. B. Elias, V. Paelke, S. Kuhnt, *Kartographische Visualisierung von Landmarken*, GEOVIS 2006, Potsdam, 2006.
10. A. Forberg, H. Mayer, *Generalization of 3D Building Data Based on Scale-Spaces*, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, (34)4, 2002, 225-230.
11. G. Fuchs, H. Schumann, *Visualizing abstract data on maps*, IV 2004.
12. I. Galler, *Identifikation von Landmarks in 3D-Stadtmodellen*, Master's thesis, 2002.
13. T. Glander, J. Döllner, *Cell-Based Generalization of 3D Building Models with Outlier Management*, Proceedings of ACM 15th International Symposium on Advances in Geographic Information Systems (ACM GIS), Seattle, USA, 2007.
14. T. Glander, M. Trapp, J. Döllner, *A Concept of Effective Landmark Depiction in Geovirtual 3D Environments by View-Dependent Deformation*, Proceedings of 4th International Symposium on LBS and Telecartography, Hongkong, China, 2007
15. E. Gobbetti, F. Marton, *Far Voxels - A Multiresolution Framework for Interactive Rendering of Huge Complex 3D Models on Commodity Graphics Platforms*, ACM Transactions on Graphics, 24(3), 2005, 878-885.
16. G. Hake, D. Grünreich, L. Meng, *Kartographie*, Walter de Gruyter, Berlin, New York, 8. Ed., 2002.
17. L. Harrie, *An Optimization Approach to Cartographic Generalization*, PhD thesis, Department of Technology and Society, Lund Institute of Technology, Lund University, Sweden, 2001.
18. H. Hoppe, *Progressive Meshes*, Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, (ACM SIGGRAPH '96 Proceedings), 1996, 99-108.
19. M. Kada, *3D Building Generalisation*, Proceedings of 22nd International Cartographic Conference, La Coruña, Spain, 2005.
20. T. A. Keahey, *The Generalized Detail-In-Context Problem*, Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization, IEEE Visualization, October 1998.
21. A. Lakhia, *Efficient Interactive Rendering of Detailed Models with Hierarchical Levels of Detail*, Proc. 3D Data Processing, Visualization, and Transmission, 2nd International Symposium on (3DPVT'04), 2004, 275-282.
22. Y.C. Lee, A. Kwong, L. Pun, A. Mack, *Multi-Media Map for Visual Navigation*, Journal of Geospatial Engineering, Hong Kong, 2001.
23. Y.K. Leung, M.D. Apperley, *A Review and Taxonomy of Distortion-Oriented Presentation Techniques*, ACM Transactions on Computer-Human Interaction, 1994.
24. H. Mayer, *Three Dimensional Generalization of Buildings Based on Scale-Spaces*, Report, Chair for Photogrammetry and Remote Sensing, Technische Universität München, 1998.
25. L. Meng, A. Forberg, *3D Building Generalization*, W. Mackaness, A. Ruas, and T. Sarjakoski (Eds.): Challenges in the Portrayal of Geographic Information: Issues of Generalisation and Multi Scale Representation, 2006, 211-32.
26. J.-Y. Rau, L.-C. Chen, F. Tsai, K.-H. Hsiao, W.-C. Hsu. *Lod generation for 3d polyhedral building model*, Advances in Image and Video Technology, Springer Verlag, 2006, 44-53.
27. H. Schumann, G. Fuchs, H. Griethe, *Definition allgemeiner Linsentechniken auf unterschiedlichen Stufen des Visualisierungsprozesses*, 2006.
28. M. Sester, *Generalization Based on Least Squares Adjustment*, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 33, 2000, 931-938.
29. K. Shea, R. McMaster, *Cartographic generalization in a digital environment: when and how to generalize*, 9th International Symposium on Computer-Assisted Cartography, 1989, 56-67.

30. S. D. Steck, H. A. Mallot, *The Role of Global and Local Landmarks in Virtual Environment Navigation*, Presence Vol. 9, No.1, MIT, 2000.
31. F. Thiemann, *Generalization of 3D Building Data*, Proc. Joint International Symposium on GeoSpatial Theory, Processing and Applications (ISPRS/Commission IV, SDH2002), Ottawa, Canada, July, 34(3), 2002.
32. N. G. Vinson, *Design Guidelines for Landmarks to Support Navigation in Virtual Environments*, Proceedings of CHI '99, ACM, 1999.
33. C. Ware, *Information Visualization - Perception for Design*, Morgan Kaufmann, 2000.
34. J. M. Ware, C.B. Jones, N. Thomas, *Automated Map Generalization with Multiple Operators: a Simulated Annealing Approach*, Int. J. of Geographical Information Science, 2003.