

Überlegungen zum stufenlosen Übergang zwischen verschiedenen generalisierten 3D-Stadtmodellrepräsentationen

TASSILO GLANDER¹, JANETT BARESEL² & JÜRGEN DÖLLNER³

Zusammenfassung: Generalisierungsalgorithmen für virtuelle 3D-Gebäude- und Stadtmodelle leiten aus detaillierten Repräsentationen weniger detaillierte Repräsentationen in unterschiedlich starkem Generalisierungsgrad ab. Für eine kartographisch optimierte Darstellung von 3D-Stadtmodellen in interaktiven Anwendungen muss abhängig vom Maßstab bzw. vom Abstand zum Betrachter eine geeignete Abstraktionsstufe ausgewählt werden. In diesem Beitrag betrachten wir das Problem der Abbildung zwischen kontinuierlichem Maßstab und diskreten generalisierten Modellen und diskutieren Ideen zu Lösungen für den dynamischen Übergang zwischen verschiedenen Generalisierungsstufen eines 3D-Stadtmodells.

1 Einleitung

Durch die Weiterentwicklung der Erfassungs- und Fortführungstechniken nehmen Qualität und Komplexität virtueller 3D-Stadtmodelle weiter zu. Während die immer genauere Modellierung einer Stadt die Modelle vielseitiger macht, erfordern viele Anwendungen häufig einen hohen Detailgrad in einem Fokusbereich, hingegen einen geringeren Detailgrad des Modells im entsprechenden Kontextbereich. Generalisierungsalgorithmen für virtuelle 3D-Gebäude- und Stadtmodelle leiten automatisch aus detaillierten Repräsentationen reduzierte und abstrahierte Repräsentationen ab, die z. B. für effizientere Berechnung physikalischer Simulationen, optimierte Datenübertragung oder kartographische Visualisierung (MENG & FORBERG 2006) eine Voraussetzung bilden.

Insbesondere für die kartographische Visualisierung mittels interaktiver 3D-Anwendungen werden generalisierte virtuelle 3D-Stadtmodelle benötigt, um Informationen optimal im Informationsgrad anzupassen und damit zu kommunizieren (JOBST ET AL. 2008). Zu großer Detailreichtum in peripheren Bereichen wird z. B. eher als ablenkendes „visuelles Rauschen“ wahrgenommen.

Interaktive 3D-Anwendungen sind im Vergleich zur klassischen Karte durch einen kontinuierlichen (1) und veränderlichen (2) Maßstab sowie durch Fokus-&-Kontext-Visualisierung (3) gekennzeichnet.

- (1) Der Nutzer betrachtet im Allgemeinen eine perspektivische Darstellung des Modells, die Vordergrundobjekte größer abbildet als Hintergrundobjekte; dabei ist der Grad der Verzerrung direkt von der Entfernung zum virtuellen Standpunkt abhängig. Somit treten in einem einzelnen erzeugten Bild der 3D-Anwendung eine Vielzahl von Maßstäben auf; im Gegensatz zur klassischen Karte, die üblicherweise genau einen Maßstab besitzt.

¹Tassilo Glander, Hasso-Plattner-Institut, Universität Potsdam, E-Mail: tassilo.glander@hpi.uni-potsdam.de

²Janett Baresel, Hasso-Plattner-Institut, Universität Potsdam, E-Mail: janett.baresel@hpi.uni-potsdam.de

³Jürgen Döllner, Hasso-Plattner-Institut, Universität Potsdam, E-Mail: doellner@hpi.uni-potsdam.de

- (2) Der Nutzer kann durch Navigation seinen Standpunkt nahezu stufenlos verändern um die virtuelle Umgebung zu erkunden. Dadurch ergibt sich kontinuierlich eine neue Entfernung zu den dargestellten Objekten, so dass in der perspektivischen Darstellung eine kontinuierliche Menge von Maßstäben auftritt.
- (3) Der Nutzer kann abhängig von Aufgaben, Nutzungskontext und Nutzerprofil Fokusbereich auswählen, so dass eine Schwerpunktsetzung in der Visualisierung ermöglicht wird. Insbesondere ergibt sich im Allgemeinen eine Aufteilung in momentane Fokus-&-Kontext-Bereiche.

2 Problemstellung

Virtuelle 3D-Stadtmodelle werden durch Generalisierungsverfahren transformiert, um so eine abstrakte Repräsentation zu erhalten. Dabei lassen sich die Generalisierungsverfahren durch Parameter steuern. Da die Verfahren meist aufwändige Prozessschritte beinhalten, wird die Generalisierung üblicherweise als Vorverarbeitung durchgeführt und nicht nach Bedarf zur Laufzeit. Die wiederholte Anwendung eines Generalisierungsverfahrens mit verschiedenen Steuerparametern erzeugt eine diskrete, endliche Menge von unterschiedlich abstrakten Modellen (MENG & FORBERG 2006).

In einer interaktiven 3D-Anwendung muss aus dieser Menge je nach angemessenem Generalisierungsgrad das geeignete Modell ausgewählt und angezeigt werden. Eine plausible Annahme ist es, den Generalisierungsgrad entsprechend der Entfernung zum Betrachter zu wählen. Alternative Metriken für den Generalisierungsgrad sind Wichtigkeit oder Entfernung zu wichtigen Punkten (*points-of-interest*) oder Flächen (*areas-of-interest*). In jedem Fall muss aus einem kontinuierlichen Intervall auf eine diskrete Menge abgebildet werden (VAN KREVELD 2001).

Ein einfacher Ansatz wählt jeweils aus der Menge der Repräsentationen die dichteste und schaltet beim Übergang eines Schwellwertes zur nächsten Repräsentation um. Diese Darstellung führt zu störenden *popping*-Artefakten, die ungewollt die Aufmerksamkeit des Betrachters auf sich ziehen (WARE 2004). Durch die fehlende Bild-zu-Bild-Kohärenz kann schwer vermittelt werden, dass es sich bei beiden Repräsentationen um dasselbe Objekt in unterschiedlicher Generalisierung handelt.

Für eine bessere Darstellung müssen Zwischenrepräsentationen gefunden werden, die den Übergang optisch „weich“ gestalten, d. h. sich im Übergangsbereich kontinuierlich verändern. Dabei kann dieser Übergang je nach Richtung komplex → abstrakt (Generalisierung) oder abstrakt→komplex (Detaillierung) unterschiedlich gestaltet sein.

3 Formen der 3D-Generalisierung

Generalisierungsverfahren im Kontext von 3D-Gebäudemodellen verarbeiten Geometrie um eine vereinfachte Repräsentation zu erhalten. Dabei stehen gebäudetypische Eigenschaften wie Erhaltung rechter Winkel und Parallelität im Vordergrund.

Viele Ansätze für Einzelgebäudegeneralisierung basieren auf der Annahme, dass ein Gebäude durch einen neuen geometrischen Körper bestehend aus wenigen charakteristischen, planaren

Primitiven, d. h. Dreiecke oder Vierecke, generalisiert werden kann. Entsprechend werden diese auf verschiedene Weise abgeleitet, etwa aus charakteristischen Halbebenen (KADA 2006), der Zerlegung in Komponenten mittels *constructive solid geometry* (CSG) (THIEMANN 2002) oder durch Vereinfachung der projizierten 2D-Grundrisse (RAU ET AL. 2006). In (FORBERG 2007) werden zur Detailreduktion nahe Primitive in gemeinsame Ebenen verschoben.

Alternativ gibt es auch Versuche, die Gebäudegeometrie durch wenige grundsätzliche Formen auszudrücken, beispielsweise durch prototypische *Template*-Geometrie, die durch Parameter an die konkrete Form angepasst werden (THIEMANN & SESTER 2006), oder die Abbildung und Zerlegung auf Elemente einer Grammatik (GUERCKE ET AL. 2008)

Für die Generalisierung von mehreren Gebäuden werden für lineare Gebäudegruppen deren 2D-Projektionen entlang der Hauptachsen vereinfacht, und anschließend extrudiert und geschnitten (ANDERS 2005). In (GLANDER & DÖLLNER 2009) werden aus Zellen des Straßennetzes neue Bebauungsblöcke an Stelle der Einzelgebäude gesetzt.

4 Übergänge zwischen Generalisierungsstufen

Für topographische Karten haben sich komplexe Regelwerke etabliert, in denen definiert ist, welche Objekte in welchem Stil je nach Maßstab dargestellt werden. Während diese Regelwerke sich zwischen Ländern und Kartenverlagen durchaus unterscheiden, gibt es übergreifend anerkannte Konzepte, etwa einzuhaltende Mindestdimensionen oder die Auswahl von in einem Maßstab zu zeigenden Objektarten (HAKE ET AL. 2002). Auch für digitale Medien und virtuelle 3D-Umgebungen stellen Grundlagenarbeiten Mindestdimensionen und Gestaltungsprinzipien fest (HÄBERLING 2003).

Allerdings ist in einer interaktiven 3D-Anwendung neben der Auswahl des geeigneten Generalisierungsgrades für einzelne Objekte die Art und Weise des Übergangs zwischen Generalisierungsgraden von Bedeutung. Dabei sollte der Übergang einerseits subtil sein, um die Aufmerksamkeit des Betrachters nicht zu stark zu binden. Andererseits soll durch den Wechsel der Bezug zwischen den beiden Repräsentationen kommuniziert werden, beispielsweise, wenn eine Gruppe von Gebäuden durch ein aggregierendes Objekt ersetzt wird.

4.1 Abbildung des Generalisierungsparameters

Formal kann der Generalisierungsgrad g als ein kontinuierlicher Parameter betrachtet werden, der die Darstellung der geographischen Objekte steuert. Für die Frage der Übergänge ist interessant, wie das kontinuierliche Intervall auf eine diskrete Menge von Modellrepräsentationen abgebildet wird.

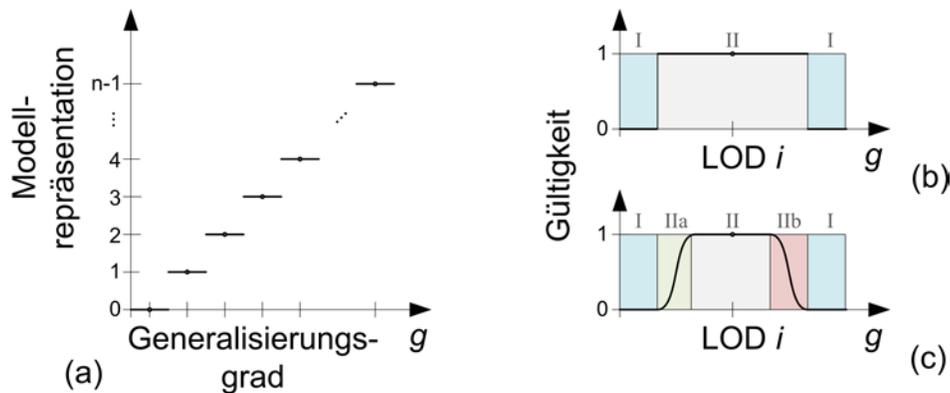


Abb. 1: Abbildung des kontinuierlichen Generalisierungsgrads auf diskrete Repräsentationen (a). Statt binärer Gültigkeit (b) kann eine Repräsentation in Übergangsphasen auch teilweise gültig sein (c).

Eine einfache Abbildung wechselt für eine weniger detaillierte Darstellung die Modellrepräsentation durch das vergrößerte Modell aus (Abb. 1). Da jede Repräsentation für einen konkreten Generalisierungsgrad (*level of detail*, LOD) vorberechnet wird, dürfte sie nur für diesen einen Maßstab angezeigt werden. Damit in einer interaktiven Umgebung mit kontinuierlichem Maßstab immer eine Repräsentation dargestellt wird, muss die Gültigkeit ausgeweitet werden. Da es nicht für jeden gewünschten Generalisierungsgrad eine korrekte Repräsentation gibt, wird so zumindest die geeignetste angezeigt. Schwellwerte beschreiben den Generalisierungsgrad, bei dem zu einer neuen Repräsentation gewechselt werden muss, um den Fehler möglichst klein zu halten. Das „harte“ Umschalten entspricht dem Wechsel des (diskreten) Maßstabs, beispielsweise in einem webbasierten Kartendienst wie Google Maps. In einer perspektivischen 3D-Darstellung führt dies bei Navigation und damit verbundenen Maßstabswechseln zu ständigen Austauschprozessen der Geometrie einzelner Szenenobjekte. Beispielsweise könnte ein Gebäudemodell mit detailliertem Balkon und Dach durch einen einfachen Quader ersetzt werden, wenn sich der Betrachter entfernt.

Eine komplexere Abbildung führt Zwischenwerte und Phasen in die Gültigkeit eines bestimmten LODs ein, so dass eine Repräsentation weich ein- und ausgeblendet wird (GLANDER & DÖLLNER 2009). Für Ein- und Ausblendphasen (IIa, IIb) können verschiedene Funktionen angenommen werden, etwa lineare oder Spline-basierte Interpolation. Da diese Phasen nur der visuellen Unterstützung dienen und die Darstellungen keine echten Zwischengeneralisierungen sind, sollten diese Phasen sehr kurz sein. Beim Stoppen der Navigation sollte der Übergang in die nächste Phase fortgesetzt werden, damit die Zwischenformen nicht in statischen Ansichten erhalten bleiben.

Die Einführung von kontinuierlichen Gültigkeitswerten für eine Repräsentation erfordert gleichzeitig, dass in den Zwischenphasen (IIa, IIb) pro Szenenobjekt zwei Repräsentationen angezeigt werden. Während z. B. LOD₂ gerade ausgeblendet wird (IIb), wird gleichzeitig bereits LOD₃ eingeblendet.

4.2 Grundtechniken

Um den angestrebten weichen Übergang umzusetzen, werden Interpolationsverfahren benötigt. Anhand eines kontinuierlichen Mischparameters wird stufenlos zwischen zwei geometrischen Repräsentationen umgeschaltet. Die folgenden Möglichkeiten gibt es grundsätzlich:

Das **bildbasierte Mischen** erzeugt Rasterbilder der beiden Repräsentationen und berechnet daraus gewichtete Mittelbilder. Ein Beispiel für dieses Verfahren ist das *alpha blending*.

Beim geometrischen **Morphing** werden Knoten einer geometrischen Repräsentation einer anderen zugeordnet (*vertex correspondence problem*), und beim Übergang in Richtung dieser Zielknoten bewegt (*vertex path problem*). Morphing hat sich bei LOD-Übergängen von Geländemodellen etabliert.

Durch die Einführung von zusätzlichen **Hilfskörpern** kann der Übergang kommuniziert werden.

5 Diskussion von Ansätzen für Übergänge

5.1 Alpha blending

Das bildbasierte Mischen anhand eines Mischparameters α ist eine sehr einfache Möglichkeit für einen weichen Übergang. Für Objekte in einer Übergangsphase werden jeweils Bilder erzeugt, die anschließend gemischt werden. Dabei gehen die Farbwerte mit dem Gültigkeitswert gewichtet in die Berechnung ein. Dieser Ansatz ist einfach umzusetzen und ermöglicht einen subtilen und stufenlosen Übergang (Abb. 2). Darüber hinaus lässt er sich mit beliebigen Generalisierungsverfahren anwenden, da keine Anforderungen an die Art der Geometrie gestellt werden oder Zusatzinformationen benötigt werden. Nachteilig an dieser Art des Übergangs ist der reduzierte Kontrast im Zwischenbereich, außerdem ist die Tiefenwirkung reduziert.

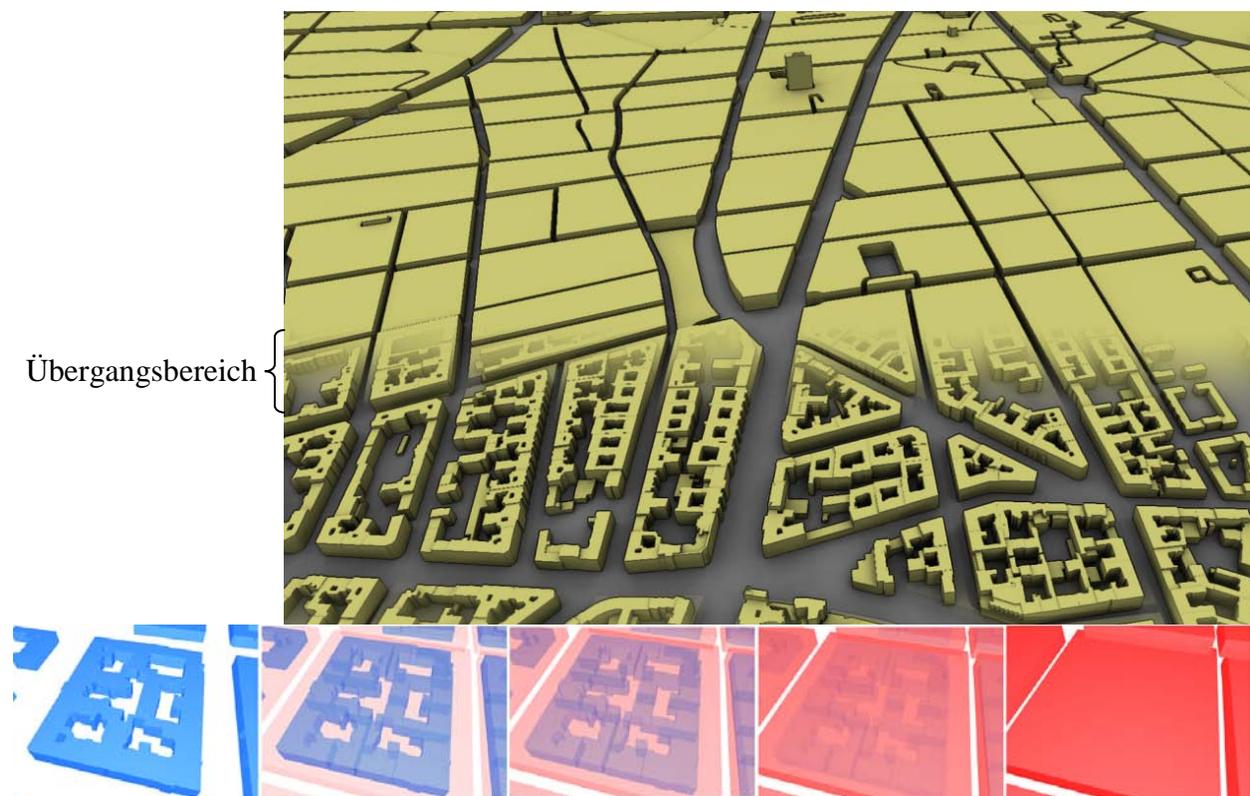


Abb. 2: Bildbasiertes Mischen führt zu einem halbdurchsichtigen Übergangsbereich.

5.2 Morphing

Morphing-Verfahren ermöglichen ebenfalls den stufenlosen Übergang von einem geometrischen Objekt zum anderen. Ein Morphing-Parameter kontrolliert analog zum bildbasierten Mischen, welchen Einfluss die beiden beteiligten Objekte haben sollen.

Morphing hat Potential für eine sinnvolle Visualisierung von Übergangszuständen, da hier die Probleme von verringertem Kontrast und Verlust von Tiefenhinweisen nicht auftreten. Die geometrische Formveränderung kann in vielen Fällen sehr natürlich und gleichzeitig subtil wirken, etwa beim sukzessiven Entfernen/Hinzufügen von Details eines Gebäudes. Dabei muss sichergestellt werden, dass typische Gebäudeeigenschaften wie Rechtwinkligkeit und Parallelität während des Morphings erhalten bleiben, z. B. indem mehrere Knoten gleichzeitig verschoben werden (SESTER & BRENNER 2004).

Das Verfahren ist im Vergleich zu bildbasierten Ansätzen deutlich aufwendiger, da vor dem eigentlichen Morphing Knoten der beteiligten geometrischen Repräsentationen einander zugeordnet werden müssen. Eine Möglichkeit ist, dass bereits während des Generalisierungsverfahrens Informationen über die Veränderung gespeichert werden. Dies ist für Simplifizierungsverfahren, die kleinere geometrische Details auf (gemeinsame) Ebenen zurückführen (KADA 2006, THIEMANN 2002, FORBERG 2007) denkbar. Ein Beispiel dafür ist Abb. 3, in der die Grundrissvereinfachungsregeln von (STAUFENBIEL 1973) analog zu (SESTER & BRENNER 2006) auf einen extrudierten Grundriss angewendet werden, und dabei die Knotenzuordnung während der Vereinfachung gespeichert wird.

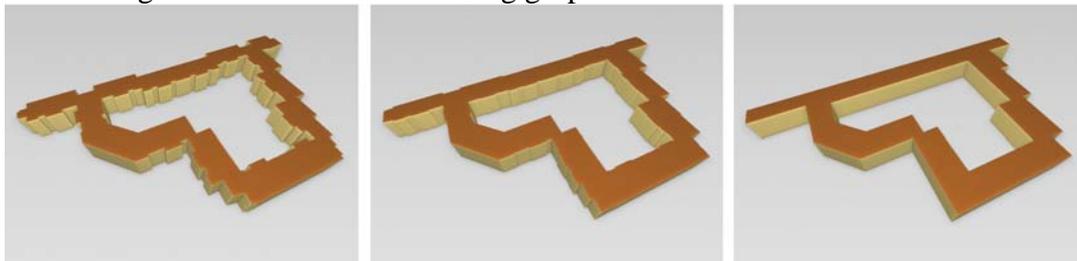


Abb. 3: Beispielhafte Darstellung für Morphing nach (SESTER & BRENNER 2006)

Alternativ können die Eckpunkte auch nachträglich einander zugeordnet werden. Dieses Verfahren bietet sich an, wenn die geometrischen Repräsentationen bereits erzeugt wurden, oder eine Zuordnung der Knoten während des Generalisierungsverfahrens nicht einfach möglich ist, etwa bei (Thiemann & Sester 2006, Glander & Döllner 2009). Für die Zuordnung müssen eventuell zusätzliche Knoten in beide Modelle aufgenommen werden, beispielsweise über ein Zwischenobjekt (z. B. Kugel oder Würfel). Für n -zu-1-Morphing von Objekten, beispielsweise wenn Einzelgebäude zu größeren Blöcken zusammengefasst werden, können möglicherweise nicht alle Knoten abgebildet werden. In Abb. 4 wird illustriert, wie mehrere Einzelgebäude durch ein Bebauungsobjekt ersetzt werden. Beim Abbildungsprozess können nur Außenflächen der LOD_i -Geometrie sinnvoll den begrenzenden Kanten der LOD_{i+1} -Geometrie zugeordnet werden. Auch bei Einzelgebäuden können in konkaven Bereichen für einzelne Kanten/Flächen keine korrespondierenden Kanten/Flächen gefunden werden.

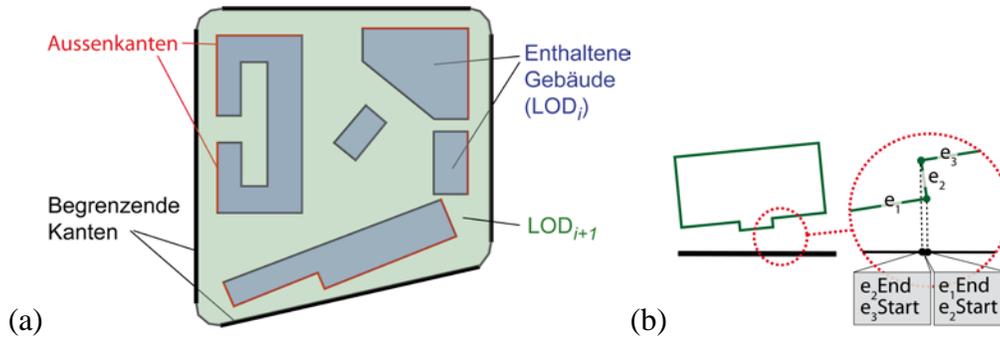


Abb. 4: Zuordnung von Flächen der LOD_r -Gebäude zu Flächen der LOD_{i+1} -Geometrie ist nur teilweise sinnvoll (a). Auch konkave Bereiche führen durch überlappende Kanten zu Zuordnungsproblemen (b).

Morphing ist bei Einzelgebäudevereinfachung eher unproblematisch, vor allem, wenn die Abbildung der Knoten bereits während des Generalisierungsverfahrens erfolgen kann. Bei der nachträglichen Zuordnung und insbesondere der Anwendung auf mehrere Gebäude ist es grundsätzlich schwierig, degenerierte Zwischengeometrie zu vermeiden. Außerdem können Genus-Änderungen auftreten, d. h. die Anzahl der Objekte ändert sich, oder Löcher entstehen bzw. fallen weg. Dies erschwert einen kontinuierlichen Übergang (Abb. 5).

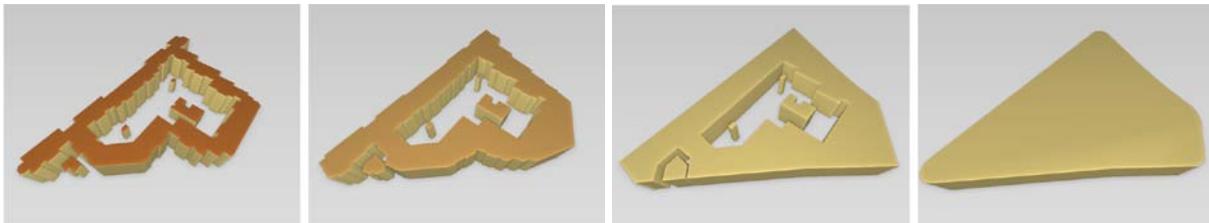


Abb. 5: Beim Morphing auf Außenkanten können Innenflächen nicht abgebildet werden, so dass die Repräsentationen schließlich sprunghaft ausgetauscht werden.

5.3 Zusatzgeometrie

Die Einführung von zusätzlicher Geometrie ermöglicht eher die Kommunikation von Generalisierungsbeziehungen als direkt einen weichen Übergang zwischen Repräsentationen. Beispielsweise können neu entstehende geometrische Details, z. B. ein Balkon, durch eine Baugerüstanalogie angekündigt werden. Auch für Geometrie, die Einzelgebäude aggregiert, können Gerüste (Abb. 6) oder kontinuierlich vergrößerte Wände des generalisierenden Blocks (Abb. 7.) als Hilfsgeometrie den Übergang begleiten.



Abb. 6: Die Gerüstmetapher dient der Ankündigung einer anderen Repräsentation.



Abb. 7: Vertikal wachsende Wände verdeutlichen den aggregierenden Block.

Allerdings ist für diese Art des Übergangs fraglich, ob die Metapher verständlich genug ist und durch die Zusatzgeometrie nicht zu sehr die Aufmerksamkeit der Nutzer abgelenkt wird.

6 Fazit

In diesem Artikel wird das Problem der Visualisierung von wenigen, diskreten und verschieden stark generalisierten Gebäudemodellen im Kontext von virtuellen und interaktiven 3D-Umgebungen mit kontinuierlichem Maßstab diskutiert. Während die bildbasierten Übergänge relativ einfach umsetzbar sind, erscheint das Morphing im Allgemeinen größeres Potential für verständliche Transformation zu haben. Ansätze mit Zusatzgeometrie sind eher als Ergänzung zur Unterstützung der Darstellung zu sehen. Für die kartographische Gestaltung von virtuellen 3D-Umgebungen müssen neue Ansätze für die kontinuierliche Darstellung von generalisierten Gebäudemodellen gefunden werden. Die vorgestellten Ansätze sollen dabei Impulse für weitere Diskussion geben.

7 Danksagung

Dieses Forschungsprojekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und ist Teil der InnoProfile Nachwuchsforschergruppe 3D-Geoinformationen (www.3dgi.de). Wir danken außerdem Benjamin Richter für seinen Beitrag zur Implementierung.

8 Literaturverzeichnis

- ANDERS, K., 2005: Level of Detail Generation of 3D Building Groups by Aggregation and Typification. Proc. 22nd Int. Cartographic Conference, La Coruña, Spain. S. 11–16.
- GLANDER, T. & DÖLLNER, J., 2009: Abstract Representations for Interactive Visualization of Virtual 3D City Models. *Computers, Environment and Urban Systems*, **33**(5), S. 375–387.
- GUERCKE, R., BRENNER, C. & SESTER, M., 2008: Data Integration and Generalization for SDI in a Grid Computing Framework. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Bd. XXXVII.
- HÄBERLING, C., 2003: Topografische 3D-Karten: Thesen für kartografische Gestaltungsgrundsätze. Dissertation.
- HAKE, G., Grünreich, D., Meng, L., 2002: *Kartographie*. 8. Ed., Walter de Gruyter.
- JOBST, M. & DÖLLNER, J., 2008: 3D City Model Visualization with Cartography-Oriented Design. 13th International Conference on Urban Planning, Regional Development and Information Society (REAL CORP), S. 507–516.

- KADA, M., 2006: 3D Building Generalization based on Half-Space Modeling. Joint ISPRS Workshop on Multiple Representation and Interoperability of Spatial Data.
- FORBERG, A., 2007: Generalization of 3D building data based on a scale-space approach. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **62**(2), S. 104–111.
- MENG, L. & FORBERG, A., 2006: 3D Building Generalisation, Challenges in the Portrayal of Geographic Information: Issues of Generalisation and Multi Scale Representation. Elsevier, S. 211–232.
- RAU, J., CHEN, L.-C., TSAI, F., HSIAO, K.H. & HSU, W.C., 2006: LOD Generation for 3D Polyhedral Building Model. *Advances in Image and Video Technology*, S. 44–53.
- SESTER, M. & BRENNER, C., 2004: Continuous Generalization for Visualization on Small Mobile Devices. *Developments in Spatial Data Handling*, S. 355–368.
- STAUFENBIEL, W., 1973: Zur Automation der Generalisierung topographischer Karten mit besonderer Berücksichtigung großmaßstäbiger Gebäudedarstellungen. Dissertation.
- THIEMANN, F., 2002: Generalization of 3D Building Data. *Geospatial Theory, Processing and Applications*, **34**(4), S. 286–290.
- F. THIEMANN & M. SESTER, 2006: 3D-Symbolization Using Adaptive Templates. *Proceedings of ISPRS Technical Commission II Symposium*, S. 49–54.
- VAN KREVELD, M., 2001: Smooth Generalization for Continuous Zooming. *Proc. 20th International Cartographic Conference (ICC'01)*, S. 2180–2185.
- WARE, C., 2004: *Information Visualization: Perception for Design*. Morgan Kaufmann.