

# Texturen für 3D-Stadtmodelle – Typisierung und Erhebungsmethodik

Rüdiger GÖBEL, Nicolai FREIWALD

(Dipl.-Geogr. Rüdiger GÖBEL, Universität Heidelberg, Geographisches Institut, Berliner Straße 48, 69120 Heidelberg, Ruediger.Goebel@geog.uni-heidelberg.de, www.geog.uni-heidelberg.de/direkt/goebel)

(Dr. Nicolai FREIWALD, Universität Heidelberg, Geographisches Institut, Berliner Straße 48, 69120 Heidelberg, Nicolai.Freiwald@geog.uni-heidelberg.de, www.geog.uni-heidelberg.de/direkt/freiwald)

## 1 ABSTRACT

Fassadentexturen werden in dreidimensionalen Stadtmodellen zur Erhöhung des Realitätsgrads, zur Visualisierung von Attributen, zur Hervorhebung und zur Ausschmückung des Modells, sowie zur illustrativen Darstellung verwendet. So unterschiedlich wie die Ziele der Texturierung sind, so verschieden sind auch die Texturierungsmethoden. Von der einheitlichen Einfärbung der Gebäude über die Darstellung von Attributen durch Farbuweisungen, mit Zeichenprogrammen erstellte generalisierte Fassaden, Schrägluftbildern, bis hin zu hochwertigen terrestrischen Fotoaufnahmen reicht das Spektrum der Fassadentexturen. Allerdings ist die in der Literatur verwendete Terminologie der Gebäudetexturierung nicht einheitlich. Regelmäßig stellt sich außerdem die Frage nach dem für den Einsatzzweck angemessenen Detailgrad (Level of Detail / LOD). Eine Definition des LOD liefert das OGC Dokument zum Format CityGML (OGC 2008). Dort wird jedoch vor allem auf verschiedene Detailgrade der Geometrie eingegangen; eine differenzierte Klassifizierung von Texturen für Gebäudefassaden in 3D-Stadtmodellen fehlt. Das Appearance Model unterscheidet in dieser Definition lediglich nach Materialien, also einheitlichen Oberflächenfarben, und typischen sowie spezifischen Texturen mittels Rasterbildern. In dieser Arbeit wird auf die Terminologie von Fassadentexturen eingegangen und ein Ansatz dargestellt, das LOD-Konzept um Fassadentexturen spezifischer Qualität zu ergänzen. Fotorealistische Texturierung von Gebäuden findet in aktuellen 3D-Stadtmodellen vor allem mit terrestrisch aber auch aus der Luft erhobenen Bildern statt. Prämissen bei der Erhebung und Weiterverarbeitung dieser Art von Texturen bilden einen weiteren Schwerpunkt.

## 2 BEGRIFFSBESTIMMUNG

Die Literatur zu Texturen stammt aus unterschiedlichen Disziplinen, sodass keine einheitliche Begriffsstruktur für Fassadentexturen besteht. Bei den Realweltaufnahmen sind die Fototextur (z.B. in Koppers 2002) und die Luftbildtextur die bekanntesten. Unter prozeduralen oder synthetischen Texturen wird eine durch ein Programm, also durch einen Algorithmus erzeugte Textur, verstanden. Hierbei ist allerdings nicht immer klar, ob eine per Algorithmus veränderte Fotografie auch schon als prozedurale Textur anzusehen ist (Ebert et al. 2003). Für 3D-Stadtmodelle muss die Definition nach der Entstehung und dem visuell wahrnehmbaren Charakter der Textur erfolgen: so ist eine Textur als Fototextur zu bezeichnen, wenn sie fotografisch aufgenommen wurde und noch als Foto zu erkennen ist. Die synthetische Textur ist teilweise enger definiert und steht für Texturen, die manuell mit einem Zeichenprogramm erstellt wurden beziehungsweise aus Elementen einer Texturbibliothek zusammengesetzt wurden. Nach Vorlage eines Fotos werden hier die Elemente, welche die Fassade prägen, zusammengesetzt oder gezeichnet und anschließend als Textur verwendet. Der Begriff der generischen (z.B. in Steidler & Beck 2004) oder typischen (OGC 2008) Textur bezeichnet eine Fassadentextur im 3D-Modell, die nicht die Fassade des entsprechenden Gebäudes der Realwelt abbildet, sondern von einem anderen Gebäude der Realwelt stammt. Die generische oder typische Textur selbst ist entweder eine Fototextur oder eine prozedurale bzw. synthetische Textur. Dem gegenüber steht die spezifische Textur (z.B. OGC 2008), die genau die Fassade abbildet, auf die sie gemappt ist (siehe Fig. 1).

Aus Sicht des Erstellers eines 3D-Stadtmodells können mit Fassadentexturen drei unterschiedliche Darstellungsziele angestrebt werden. Dies sind erstens die Abbildung der Realität, zweitens die Erweckung eines realistischen Eindrucks und drittens eine Abbildung mit Modellcharakter. Soll die Realität abgebildet werden, müssen Fototexturen erhoben werden. Zur Erweckung eines realistischen Eindrucks werden generische bzw. typische Texturen verwendet. Bei Verwendung entsprechender Texturen, kann gegenüber ortsunkundigen Betrachtern der Realeindruck eines Stadtgebietes vermittelt werden. Ein Modellcharakter wird über die Gruppe der prozeduralen Texturen erzeugt. Dies kann z.B. zum Zweck haben, thematische Attribute mit Hilfe von nicht-fotorealistischer Rendertechniken im 3D-Modell darzustellen (Döllner et al. 2006).

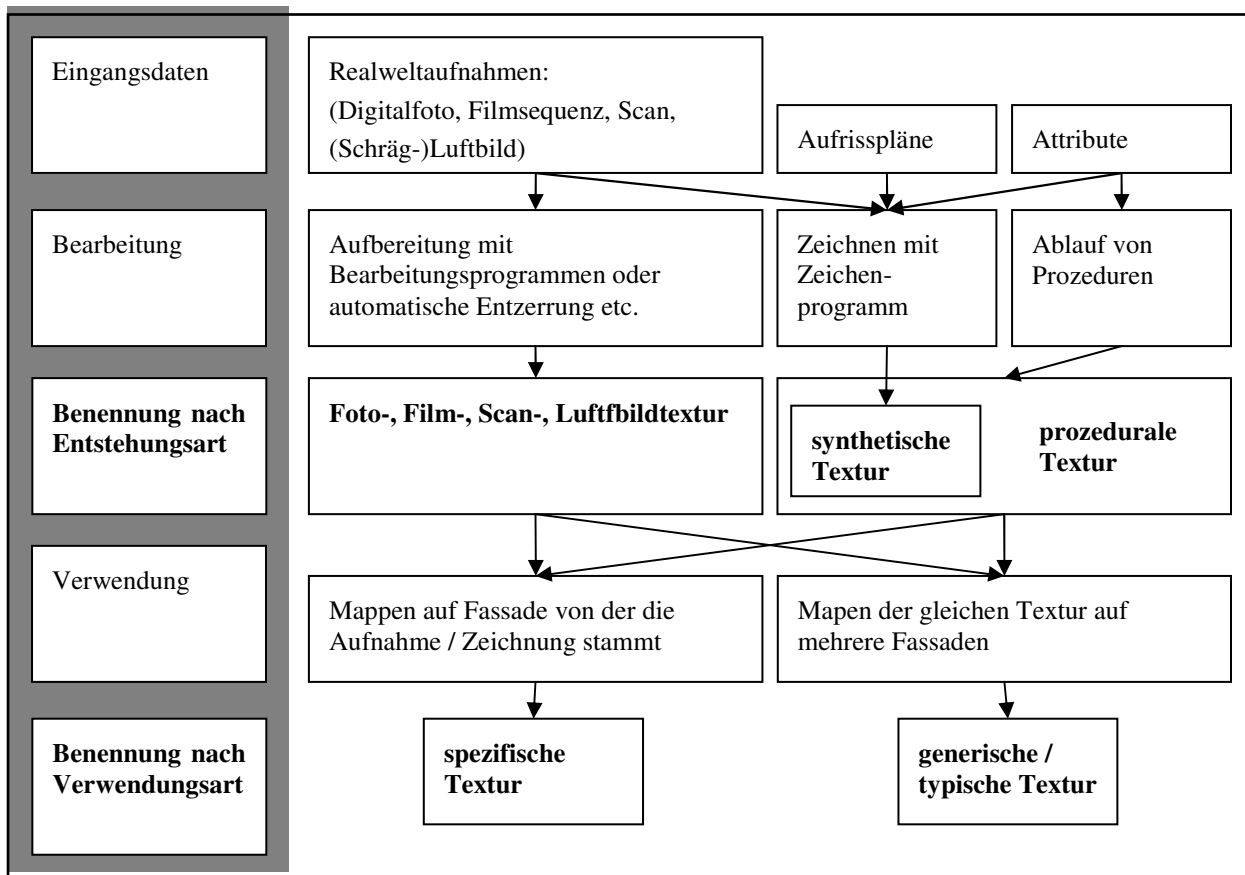


Fig. 1: Begriffsbestimmung der Fassadentexturen

### 3 DETAILGRAD VON TEXTUREN

Der Detailgrad von Fassadentexturen steht mit dem LOD der Gebäude und mit der optimalen Auflösung der Textur in Verbindung. Der Einsatz von Texturen soll üblicherweise einen höheren Detailgrad suggerieren, als durch die Geometrie modelliert ist. Hieraus folgt, dass der Detailreichtum in einer Textur höher sein muss als der der zugrunde liegenden Geometrie. Der Detailreichtum steht in enger Beziehung zur Auflösung der Textur, hier definiert als die Kantenlänge, die ein Pixel auf der Fassade abdeckt. Um ein Objekt in einer Textur erkennen zu können, muss dieses mindestens 20-40 Pixel in der Textur einnehmen (Katzenbeisser & Kurz 2004). So lassen sich je nach Auflösung der Textur unterschiedlich große Objekte erkennen. Unter der Annahme, dass ein Objekt quadratisch ist, muss dessen Kantenlänge mindestens vier bis fünf Mal so groß sein wie die Auflösung der Textur, um erkennbar zu sein. Dies hat insbesondere Auswirkungen auf die Texturierung von LOD3 und 4-Gebäuden, bei denen die Geometrie fein gegliedert ist. Werden z.B. 10cm große Details modelliert, muss die Auflösung der Textur mindestens 2cm betragen. Sobald Vorsprünge oder Einbuchtungen, z.B. Balkone oder tief in der Fassade liegende Fenster, modelliert werden, ist zu beachten, dass auch alle Flächen dieser konstruktiven Bauelemente texturiert werden sollten. Diese können nicht aus frontal aufgenommenen Fotos der Fassade gewonnen werden, sondern müssen aus Profilaufnahmen extrahiert werden.

Die für eine optimale Darstellung benötigte Auflösung einer Textur ist abhängig von der minimalen Entfernung des Betrachters von der Fassade, der Größe des Viewers und dem eingestellten Blickfeld. Für Aufnahmen aus der Vogelperspektive werden üblicherweise Entfernungen zwischen 100-200m angenommen. Für die Fußgängerperspektive könnten unterschiedliche Stufen von 10m, 5m und 1m angenommen werden. Bei den Entfernungen ergeben sich für eine optimale Darstellung bei einer Viewer-Fensterbreite von 640 Pixeln und einem Blickfeld von 45 Grad die in Figur 2 dargestellten Werte.

Minimale Betrachtungsentfernung	Auflösung (Kantenlänge der Fassade pro Pixel)
200m	25,88cm
100m	12,94cm
10m	1,29cm
5m	0,65cm
1m	0,13cm

Fig. 2: Zusammenhang von minimaler Betrachtungsentfernung und notwendiger Texturauflösung

Die Werte der optimalen Auflösung für die Fußgängerperspektive stellen sehr hohe Anforderungen an die Aufnahme der Bilder. In Figur 3 ist ein Vergleich unterschiedlicher Auflösungen bei einem Abstand von 5m zur Fassade dargestellt. Im unteren Teilbereich wurde mit einer Auflösung von 0,65cm Fassade pro Pixel gerendert (optimal), darüber mit 1,3cm und für den oberen Teil der Abbildung mit 2,6cm. Die Qualität der Ansicht nimmt mit sinkender Auflösung stark ab. Ob der mittlere Qualitätslevel akzeptabel ist, hängt von der Anwendung ab. Es kann allerdings festgestellt werden, dass die Auflösung im Vergleich zum Optimum nicht mehr als halbiert werden sollte, um ein ansprechendes Ergebnis zu generieren.

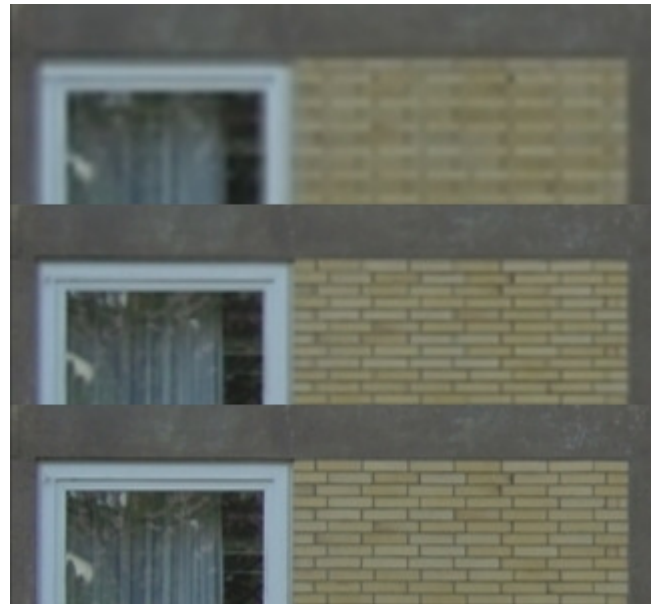


Fig. 3: Auflösung von Fassadentexturen

Eine solche Auflösung kann nur durch terrestrisch aufgenommene Bilder erreicht werden. Die bei Schrägluftbildern übliche Auflösung von 20cm Fassade pro Pixel (Ulm 2004) genügt nur für eine Betrachtung aus der Vogelperspektive.

Bei Texturen, die auf Realweltaufnahmen beruhen, bestimmen Kameraparameter und Entfernung vom Objekt die maximale Auflösung der Textur. Prozedurale Texturen können in beliebiger Auflösung generiert werden, hier bestimmen die zugrunde liegende Vorlage bzw. die Attribute den maximal möglichen Detailgrad.

In Figur 4 wird ein Zusammenhang zwischen Betrachtungsperspektive, Auflösung und minimalen Objektgrößen in Texturen sowie dem möglichen LOD der Gebäude hergestellt. Dabei werden die oben genannten Viewer-Einstellungen angenommen und eine Texturauflösung angestrebt, die knapp unter dem Optimum liegt.

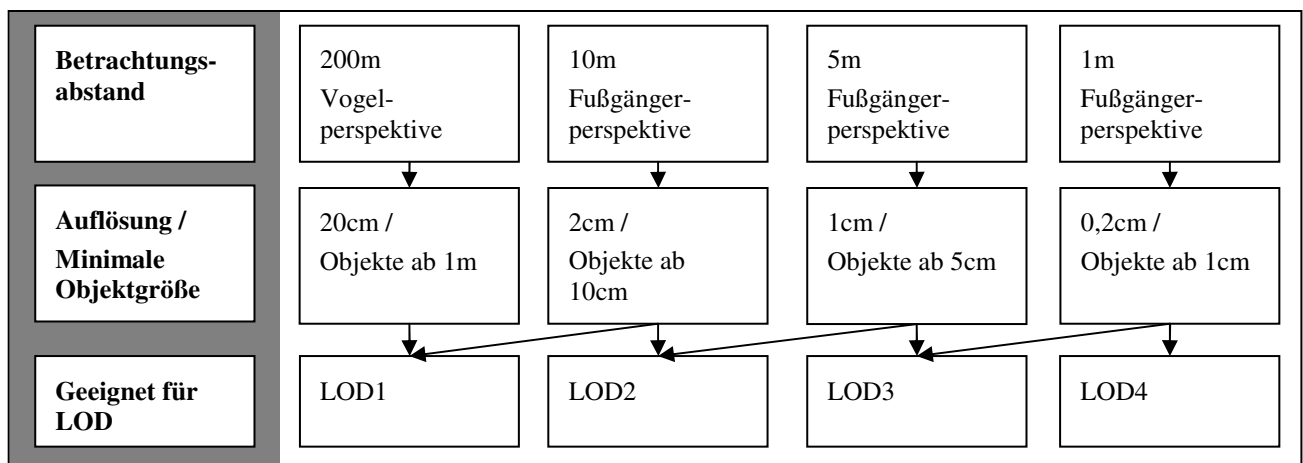


Fig. 4: Zusammenhang der Auflösung von Texturen und passenden Gebäude-LODs

Die Darstellung detaillierter Fototexturen stellt hohe Ansprüche an die Graphikhardware. Um die Texturen darstellen zu können muss mit LOD-Konzepten, Textur-Atlanten (Buchholz & Döllner 2005) und Culling-Strategien gearbeitet werden. Die Auflösung der Fassadentexturen kann je nach Entfernung einer Fassade vom Betrachter heruntergerechnet werden. Dabei sollte allerdings beachtet werden, dass die Auflösung aller Teile einer Fassade möglichst gleich bleibt, um eine homogene Darstellung zu gewährleisten.

## 4 ERSTELLUNG TERRESTRISCHER FOTOTEXTUREN

### 4.1 Aufnahme der Fotos

Zur Erzeugung von Fassadentexturen sollten die Fotos nach genau festgelegten Richtlinien aufgenommen werden, um einen effizienten Workflow bei der Weiterverarbeitung sowie schließlich die Einheitlichkeit der Texturen zu gewährleisten. Zu berücksichtigen sind hier insbesondere folgende Aspekte (Freiwald 2007):

- Wahl der kleinmaßstäblichen Perspektive: die für eine Texturierung notwendigen Fassadenfotos lassen sich entweder aus der Luft, durch von einem Flugzeug aufgenommene Schrägbilder, oder terrestrisch gewinnen. In der Literatur werden überwiegend finanzielle bzw. technische Gründe für die eine oder andere Methode genannt (Steidler & Beck 2004, bzw. Früh & Zakhor 2003). Grundsätzlich sollten visueller Eindruck sowie Akzeptanz des Betrachters maßgebend sein. Von der Luft aus aufgenommene Schrägbilder sind für 3D-Modelle, die auch der Betrachtung aus Fußgängersicht dienen sollen, nicht nur auf Grund der geringen Auflösung zum Teil wenig geeignet. Dies wird insbesondere dann deutlich, wenn die Fassade aufgrund bestimmter konstruktiver Merkmale wie Balkone, Außentreppe oder zurückversetzter Fenster eine gewisse Tiefe aufweist. Bei einer Schrägbildaufnahme aus der Luft wird zum Teil auch die nach oben weisende Seite genannter Bauelemente aufgenommen (z.B. Fußboden des Balkons, Oberseite des Fenstersimses). Dies ist für eine Betrachtung des Modells aus der Luft zweckdienlich. Aus Fußgängerperspektive erwartet der Betrachter hingegen, die Unterseite bzw. bei größerer Entfernung die Vorderseite solcher Bauelemente zu sehen. Der visuelle Eindruck des Betrachters wird dadurch gestört und die Akzeptanz des Modells auf Nutzerseite sinkt. Umgekehrt hingegen sind terrestrisch aufgenommene Fassadentexturen für eine Betrachtung des Modells aus der Luft gut geeignet. Durch den höheren Betrachterabstand bzw. die damit einhergehende geringere Sichtbarkeit von Details wirkt die für eine Betrachtung von oben weniger stimmige Ansicht einer Fassade vergleichsweise nur gering störend.
- Wahl der großmaßstäblichen Perspektive: Um eine effiziente Weiterverarbeitung der Fassadenfotos zu gewährleisten, sollte eine möglichst unverzerrte und vollständige Abbildung der Fassade angestrebt werden. Hilfreich ist hierbei die Verwendung langer Brennweiten und daraus folgend ein großer Aufnahmeabstand zur Fassade. Dadurch steht die Aufnahmeebene, bei Digitalkameras der elektronische Fotosensor, möglichst parallel zur Fassade, was eine geringe Verzerrung gewährleistet. Durch die große Entfernung kann die Fassade einerseits vollständig in einer Aufnahme erfasst werden, andererseits werden extreme perspektivische Ansichten oben genannter konstruktiver Fassadenelemente vermieden. In der Umsetzung sind hier jedoch Grenzen gesetzt. Bei sehr dichter Bebauung kann es notwendig sein, mit kurzen Brennweiten bzw. Weitwinkelobjektiven zu arbeiten. Ebenso ist es möglich, dass eine Fassade nur mit mehreren Aufnahmen vollständig erfasst werden kann. Perspektivische Korrekturen und Zusammensetzen von Einzelaufnahmen erhöhen den Nachbearbeitungsaufwand deutlich. Ein weiterer Punkt, der generell bei der Wahl der Perspektive eine große Rolle spielen kann, ist die Spiegelung der Umgebung in Glasflächen der Fassade. Hierdurch bewirkte Unstimmigkeiten des visuellen Eindrucks auf Betrachterseite lassen sich nur mit sehr viel Aufwand vermeiden.
- Wahl des Aufnahmezeitpunkts: Bei Berücksichtigung der Jahreszeit, hat sich in der Praxis das Winterhalbjahr als günstiger für die fotografische Erfassung erwiesen. Bäume, die das potentielle Objekt verdecken, tragen kein Laub. Die Fassade kann dadurch vollständiger aufgenommen werden und der Aufwand der Nachbearbeitung sinkt. Auch die Wetterverhältnisse sind zu dieser Jahreszeit häufig besser geeignet. Bedeckter Himmel und damit überwiegend diffuse Beleuchtung vermeiden harten Schattenwurf durch andere Gebäude bzw. konstruktive Elemente. Das Vermeiden solcher Schatten trägt zu einem homogenen Erscheinungsbild des fertigen 3D-Modells bei. Auch im Sinne einer vielseitigen Verwendbarkeit sollten solche Schatten vermieden werden. Zu verschiedenen Tageszeiten aufgenommene Fassaden können durch den unterschiedlichen, nicht stimmigen Schattenwurf den visuellen Eindruck beim Betrachter stören. Außerdem ist ein Modell, welches bereits in den Texturen einen Schatten enthält, nur noch bedingt für die Analyse oder Darstellung von Verschattungen geeignet.

Auch störende Bildelemente wie Fußgänger oder Fahrzeuge, die die Sicht auf die Fassade behindern, können durch die Wahl eines geeigneten Aufnahmezeitpunkts minimiert werden.

## 4.2 Weiterverarbeitung

- Entzerrung der Aufnahmen: Mit der Berücksichtigung oben genannter Aspekte kann die perspektivisch unverzerrte Aufnahme einer Fassade nur im Idealfall erreicht werden. Da häufig keine orthogonale Aufnahmeposition eingenommen werden kann oder zusätzlich mit kurzen Brennweiten gearbeitet werden muss, müssen Aufnahmen nachträglich manuell bearbeitet werden. Um einen stimmigen visuellen Eindruck und eine hohe Akzeptanz beim Betrachter zu bewirken, ist eine fotogrammetrische Entzerrung, die die exakte Vermessung von Fassadenelementen auf Basis des Fotos erlaubt, nicht zwingend notwendig. Eine perspektivische Entzerrung, die rechte Winkel bzw. Parallelen in der Fassade auch als solche abbildet, ist in der Regel ausreichend. Bei der Verwendung von Weitwinkelobjektiven kann auch die so genannte Verzeichnung, die zum Rand zunehmende Linienkrümmung, störend wirken. Diese Arten von Verzerrung können mit üblicher Bildbearbeitungssoftware korrigiert werden.
- Zusammensetzen der Aufnahmen: Oft besitzen Fassaden eine Ausdehnung, die eine vollständige Erfassung mit einer einzigen Aufnahme unmöglich machen. In diesem Fall müssen mehrere Teilaufnahmen der Fassade gemacht werden. Der Einsatz sehr kurzer Brennweiten ist hierbei kritisch zu sehen, da der nachträglichen perspektivischen Entzerrung, die durch die Verwendung von Weitwinkelobjektiven begünstigt wird, Grenzen gesetzt sind. Basis für das Zusammensetzen einer Fassade aus mehreren Aufnahmen sind vollständig entzerrte Einzelaufnahmen.
- Bereinigung der Aufnahmen: Bildelemente, die die Fassade temporär verdecken (z.B. parkende Fahrzeuge, Fußgänger, Schattenwurf), und störende, kurzlebige Bildelemente (z.B. Graffiti, Plakate) können bei der Aufnahme selten vollständig vermieden werden. Mittels nachträglicher Bildbearbeitung lassen sich solche Elemente manuell aus den Aufnahmen entfernen. Die Beseitigung von Elementen, die die Fassade verdecken, ist zur Erhöhung des Realitätseindrucks zwingend notwendig. Das Entfernen störender, kurzlebiger Bildelemente kann je nach Verwendungszweck hilfreich sein, um einen idealtypischen Modellcharakter zu bewirken

## 5 ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Arbeit wurde auf die Terminologie und den Detailgrad von Fassadentexturen und die terrestrische Erfassung und Bearbeitung von Fototexturen eingegangen. Einerseits sind die Erfassung und Bearbeitung solcher Texturen sehr zeitaufwendig, sodass immer nur kleine Gebiete texturiert werden können. Andererseits kann nur auf diese Weise eine Darstellungsqualität erreicht werden, die für die Fußgängerperspektive optimale Ergebnisse hinsichtlich der Akzeptanz des Betrachters liefert.

## 6 LITERATUR

- BUCHHOLZ, H., DÖLLNER, J.: View-Dependent Rendering of Multiresolution Texture-Atlases. In: Proceedings of the IEEE Visualization Conference, Piscataway, 2005
- DÖLLNER, J., NIENHAUS, M., BUCHHOLZ, H.: Potentiale nichtphotorealistischer 3D-Darstellungen von Geoinformationen. In: THEILE, E.: XYZ-aufgelöst: Kartographische Anwendungen für Gegenwart und Zukunft, Bonn, 2006
- EBERT, D. S., MUSGRAVE, F. K., PEACHEY, D., PERLIN, K., WORLEY, S.: Texturing & Modeling: A Procedural Approach; Third Edition; Amsterdam, 2003
- FREIWALD, N.: Interaktives, webbasiertes 3D-Informationssystem für den Heidelberger Universitätscampus; Dissertation, Heidelberg, 2007
- FRÜH, C.; ZAKHOR, A.: Constructing 3D City Models by Merging Ground- Based and Airborne Views. Proceedings. In: Computer Graphics and Applications. Vol. 23 (6), 2003
- HAALA, N., KADA, M.: Panoramic Scenes for Texture Mapping of 3D City Models. In: Proceedings of ISPRS working group V/5: Panoramic Photogrammetry Workshop, IAPRS, Vol. XXXVI-5/W8, 2005
- KATZENBEISSER, R., KURZ, S.: Airborne Laser-Scanning, ein Vergleich mit terrestrischer Vermessung und Photogrammetrie. In: PFG (3), 2004.
- KOPPERS, L.: Generierung von Objekten für 3D-Stadtmodelle; Dissertation, München, 2002
- OGC: OpenGIS® City Geography Markup Language (CityGML); Implementation Specification; Reference Number OGC 08-007; Version 1.0.0, 2008
- ULM, K.: Virtuelle 3D-Stadtmodelle – Technologie und Anwendung. In: GeoBit (8), 2004
- STEIDLER, F.; BECK, M.: Cybercity Modeler, Generation, Updating and Continuation of 3D-City Models with Online-Editing – Visualization with Terrain-View 2.0. In: SCHRENK, M. (Hrsg.): CORP 2004 – Beiträge zum 9. Symposium zur Rolle der Informationstechnologie in der Stadt- und Raumplanung sowie zu den Wechselwirkungen zwischen realem und virtuellem Raum. Selbstverlag des Vereines CORP – Competence Center for Urban and Regional Development, Wien, 2004