

Automatische Texturierung von 3D Stadtmodellen in der Anwendung

GERALD FORKERT¹ & MARTIN KERSCHNER¹

Zusammenfassung: In unserem Beitrag stellen wir das in der CityGRID Software implementierte Verfahren zur automatischen Texturierung von 3D Stadtmodellen vor. Es können sowohl orientierte Luftbildern als auch Mobile Mapping Aufnahmen genutzt werden. Am Beispiel von durchgeführten Projekten zeigen wir, welche Ergebnisse im praktischen Einsatz erzielbar sind.

1 Einleitung

Wenn wir im Folgenden von „3D Stadtmodellen“ sprechen, meinen wir damit auch landesweit erstellte 3D Gebäudemodelle. Bei solchen 3D Stadtmodellen geht es darum, die real existierenden Gebäude einer Stadt oder eines ganzen Landes zu modellieren und als Datenbestand für mögliche künftige Anwendungen vorzuhalten. In diesem Sinne geht es bei der 3D Stadtmodellierung also nicht um die möglichst detaillierte Modellierung eines kleinen Gebietes (für eine konkrete Aufgabenstellung), sondern um die möglichst zeitnahe Bereitstellung eines vollständigen, flächendeckenden 3D Datensatzes auf möglichst wirtschaftliche Art.

Die Form solcher 3D Gebäudemodelle kann, sofern eine generalisierte Rekonstruktion in der Detaillierungsstufe LOD 2 (nach Definition der SIG 3D, siehe www.sig3d.org) genügt, recht effizient aus 3D Laserscanning oder Bildmaching gewonnen werden. Das für die Gebäudemodellierung besonders gut geeignete Semi-Global Matching wurde in HIRSCHMÜLLER (2005) vorgestellt. Für die detailliertere Modellierung in der Stufe LOD 3 wird meistens die stereophotogrammetrische Dachauswertung eingesetzt.

Durch automatische Texturierung aus orientierten Bildern können nun solche Gebäudemodelle mit vergleichsweise geringem Aufwand weiter „verschönert“ werden. Wobei wir an dieser Stelle betonen müssen, dass es in der Praxis natürlich im Ermessen des Kunden liegt, ob eine automatisch abgeleitete Realtexur als „Verschönerung“ der Gebäudemodelle gesehen wird. Gegen eine automatische Texturierung aus Luftbildern wird oft angeführt, dass die erzielbare Texturauflösung begrenzt ist und sich kaum für eine Visualisierung aus der Fußgängerperspektive eignet. Insbesondere LOD 3 Gebäudemodelle werden oft schon aufgrund ihrer feiner modellierten Form als „schön“ empfunden. Bei solchen Modellen wird wohl erst eine hochauflösende Fassadentexturierung aus terrestrischen Nahaufnahmen eine weitere Verschönerung bringen. In unserem Beitrag behandeln wir daher den praktischen Einsatz der automatischen Texturierung sowohl aus Luftbildern als auch aus terrestrischen Mobile Mapping Aufnahmen.

¹ UVM Systems GmbH, Inkustr. 1-7/3, 3400 Klosterneuburg, Österreich;
E-Mail: [gerald.forkert, martin.kerschner]@uvmsystems.com

Bei den im Folgenden vorgestellten Anwendungen liegt das Hauptaugenmerk stets darauf, Realtexur automatisch für große Gebiete bzw. sehr viele Gebäudemodelle abzuleiten. Dass bei detaillierter Betrachtung einzelner Gebäude gewisse Mängel erkennbar sind, nehmen wir zugunsten des geringen Bearbeitungsaufwandes in Kauf. Als Ergänzung zu unseren automatischen Verfahren bieten wir auch Softwarelösungen für die interaktive Überarbeitung von Gebäudemodellen auf Basis der automatischen Texturierung an.

2 Automatische Texturierung aus orientierten Bildern

Die Abbildung eines Gebäudes in einem photographischen Bild wird mathematisch durch die in der Photogrammetrie bekannten Abbildungsgleichungen der Zentralprojektion beschrieben (siehe KRAUS 2004). Diese Abbildungsgleichungen verwenden wir nun, um die Phototextur aus einem orientierten Luftbild auf ein im selben Koordinatensystem vorhandenes Gebäudemodell zu projizieren.

Die konkrete Implementierung der automatischen Texturierung erfolgte in unserem Softwaresystem CityGRID durch 2 neue Module, eines für die automatische Texturierung aus Luftbildern und das zweite zur automatischen Texturierung aus Mobile Mapping Aufnahmen.

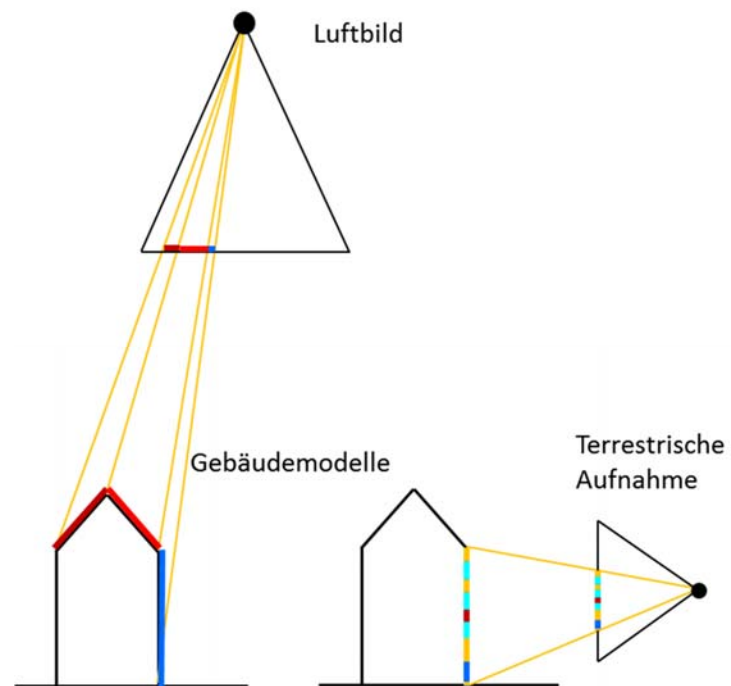


Abb. 1: Generierung von Textur durch Projektion aus orientierten Aufnahmen

2.1 Automatisch Texturierung aus Luftbildern

Bei der Implementierung unseres Verfahrens sind wir davon ausgegangen, dass, aufgrund hoch überlappender Aufnahmeanordnungen, für die Texturierung eines konkreten Dach- oder Fassadenelementes des Gebäudemodells meistens eines von mehreren Luftbildern gewählt werden kann. Die Auswahl des bevorzugten „Quellbildes“ für die Texturierung eines bestimmten Dach- oder Fassadenelementes erfolgt in unserem Verfahren so, dass ein möglichst harmonischer Gesamteindruck entsteht. So versucht unser Verfahren zum Beispiel benachbarte und ähnlich orientierte Fassadenelemente möglichst aus ein und demselben Quellbild zu texturieren.

Die Voraussetzung für eine vollständige Texturierung aller Dächer und Fassaden des Stadtmodells ist ein Bildflug mit zumindest 60% Längs- und 60% Querüberlappung. Diese Überlappung garantiert, dass jede Fassade theoretisch zumindest in einem Luftbild abgebildet ist. Man beachte, dass auch für das automatische Matching eines Oberflächenmodells vom

städtischen Bereich eine ähnlich hohe Überlappung gefordert wird. Mit anderen Worten: Luftbilder, die in einer Anordnung für die automatische Ableitung von Gebäudemodellen aufgenommen werden, können anschließend auch für die automatische Texturierung des Stadtmodells verwendet werden!

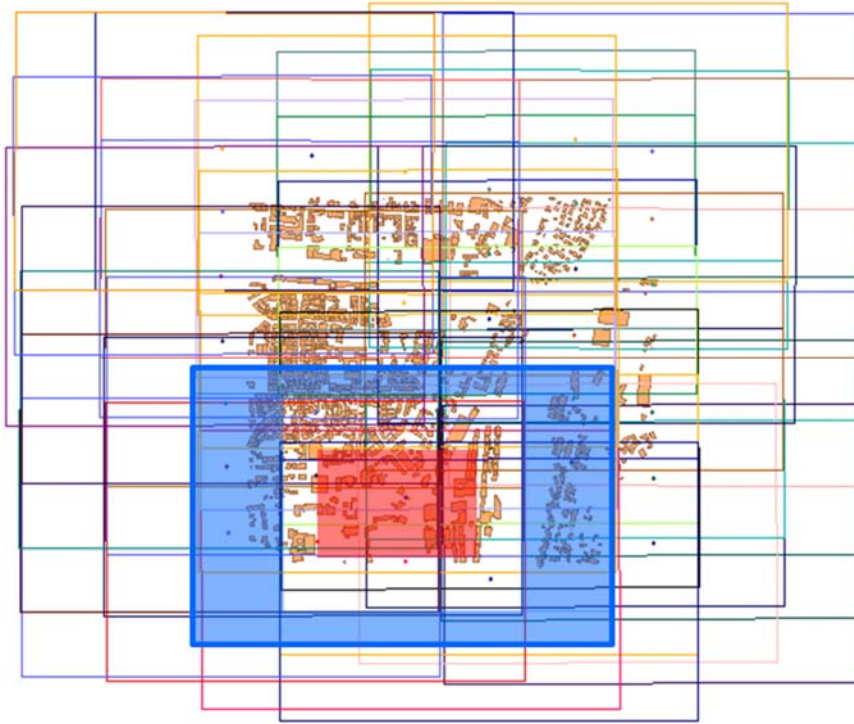


Abb. 2: Anordnung der Luftbilder bei einem Flug mit einer Vexcel UltraCam über dem Stadtzentrum von Linz. Längsüberlappung 80%, Querüberlappung 60%. Eine Aufnahme ist exemplarisch hervorgehoben: die blaumarkierten Randbereiche werden als Quelle für die Fassade

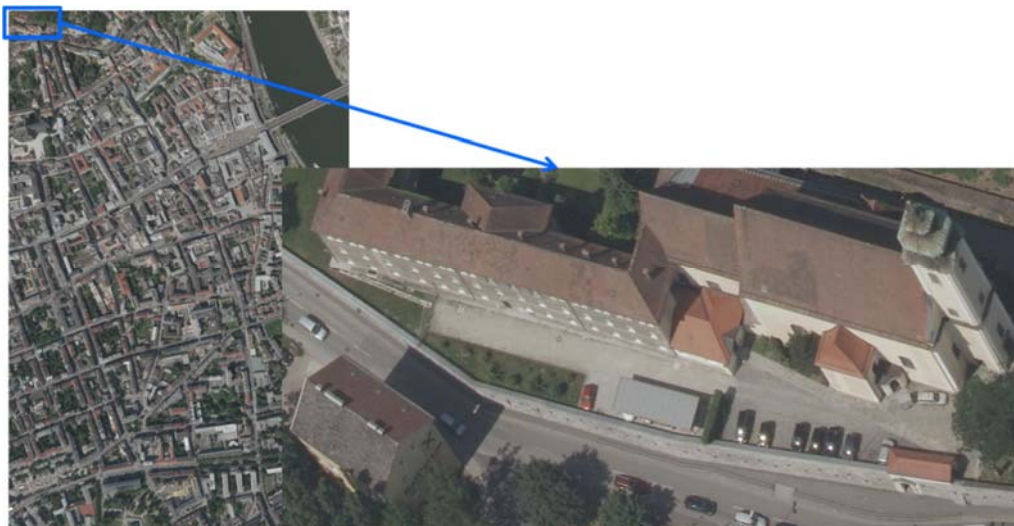


Abb. 3: Ausschnitt aus dem Randbereich einer Vexcel UltraCam Aufnahme (siehe: <http://www.microsoft.com/en-us/ultracam/default.aspx>)

Wie aus der Abb. 2 ersichtlich, nutzt unser Verfahren die Bildmitten-Bereiche für die Texturierung der Dächer, um die „Umklappeffekte“ von nicht modellierten Kaminen und Gaupen zu minimieren. Die Fassaden hingegen sind nur an den Bildrändern einigermaßen gut abgebildet, daher werden genau diese Randbereiche als Quelle zur Fassadentexturierung genutzt.



Abb. 4: Automatische Texturierung des Stadtmodells „Linz“ aus Nadirluftbildern

Wie im Bildausschnitt der Abbildung 3 erkennbar, sind bei herkömmlichen Nadirluftbildern auch im Randbereich die Fassaden sehr verkürzt abgebildet. Aus dem Verhältnis von Bildbreite zu Kammerkonstante ergibt sich bei typischen Luftbildkameras, dass eine Fassade im günstigsten Fall noch immer sehr steil im Verhältnis 1:2 abgebildet wird. Aus diesem Grund ist die Auflösung der Fassadentextur aus Nadirluftbildern deutlich geringer als die Auflösung der Dachtextur. Bei einem Luftbild mit einer Bodenauflösung von 10cm ergibt sich demnach bestenfalls eine Fassadentextur mit einer Auflösung von 20cm pro Pixel. Dieser Umstand, und die Tatsache dass nicht modellierte Fassadenelemente wie etwa Balkone extrem (im Verhältnis 1:2) nach unten geklappt texturiert werden, legen nahe, ein aus Nadirluftbildern texturiertes Stadtmodell möglichst nur im Überflugmodus zu visualisieren, siehe Abbildung 4.

Eine grundsätzlich bessere Auflösung der texturierten Fassaden ermöglichen Schrägluftbilder von sogenannten „Oblique-Kamera“ Systemen. Die Abbildung 5 zeigt, dass Schräg-Luftbilder besonders bei lockerer Bebauung Vorteile durch die schräge Sicht auf die Fassaden bieten. In dicht verbauten Stadtzentren hingegen sind eher herkömmliche Nadirluftbilder von Vorteil, die mit ihrem steilen Abbildungswinkel die Fassaden in engen Straßenschluchten vollständiger abbilden.

Die Abbildung 6 zeigt Beispiele von aktuellen Oblique-Kamerasystemen. In einer Plattform sind mehrere Kameras mit 45° Blickrichtung schräg montiert, so dass simultan eigene Aufnahmen vorwärts, rückwärts, links und rechts zur Flugrichtung erstellt werden. Zusätzlich ist bei vielen Systemen noch eine senkrecht nach unten gerichtete Nadirkamera in das System integriert.

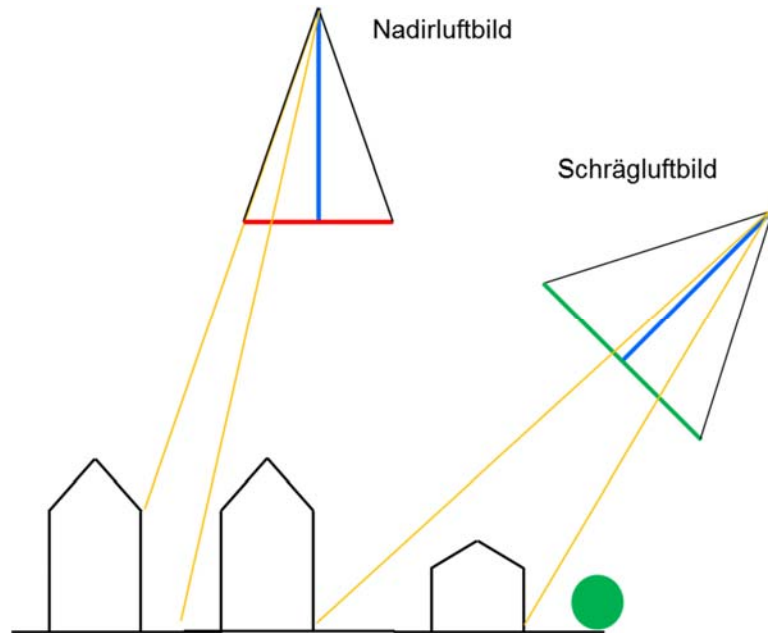


Abb. 5: Vergleich von Stadtbereichen die günstiger mit Nadir- bzw. günstiger mit Schrägluftbildern abgebildet werden.

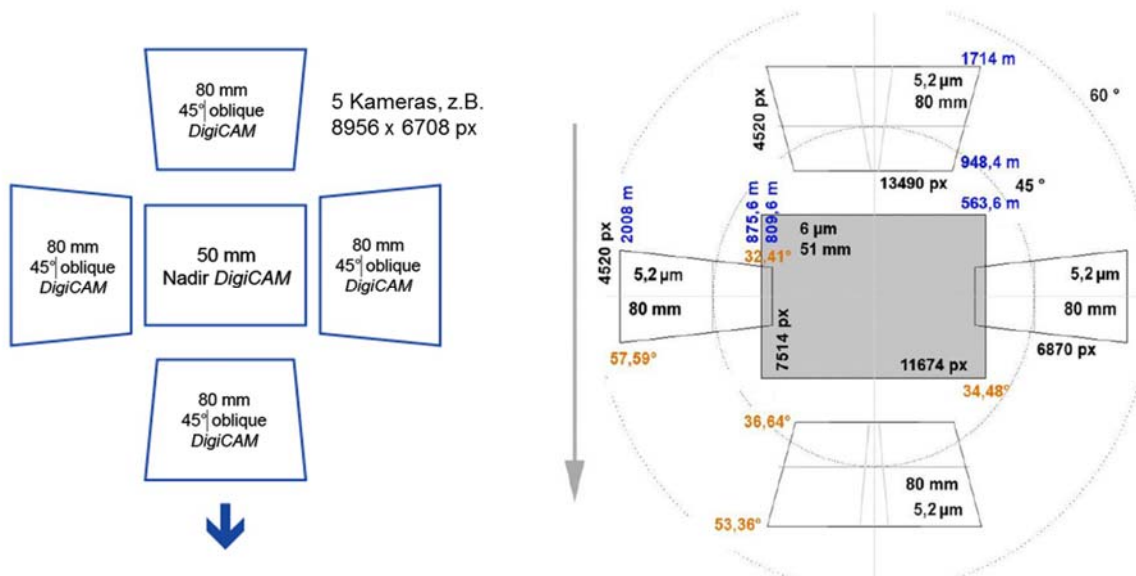


Abb. 6: Beispiele für Oblique-Kamerasysteme, links: Igi Penta DigiCAM (<http://www.igi.eu/penta-digicam.html>), rechts: Microsoft Vexcel UltraCam Osprey (<http://www.microsoft.com/en-us/ultracam/UltraCamOsprey.aspx>)

Bei der Texturierung aus Schrägluftbildern treten, viel mehr als bei Nadirluftbildern, Verdeckungen von Fassaden durch benachbarte Gebäude auf. Um die daraus entstehenden Fehlabbildungen zu minimieren, haben wir in unserem Verfahren der automatischen

Texturierung eine Option zur automatischen Sichtbarkeitsanalyse und Verdeckungsminimierung vorgesehen, siehe Abbildung 7.



Abb. 7: Automatische Texturierung aus Schrägluftbildern, links ohne Sichtbarkeitsanalyse, rechts mit Sichtbarkeitsanalyse und Verdeckungsminimierung.

Das in CityGRID implementierte Verfahren wurde von uns und von unseren Kunden bereits in mehreren Projekten eingesetzt, z.B. für die automatische Texturierung des Berliner Stadtmodells mit 550.000 Gebäuden. Die Rechenzeiten betragen durchschnittlich 10 bis 40 Sekunden pro Gebäude. Der interaktive Aufwand für die Datenvorbereitung und für die Prozesskontrolle liegt bei ca. 1 Tag pro 10.000 Gebäude.



Abb. 8: Automatische Texturierung des Stadtmodells „Stuttgart“ aus Schrägluftbildern

2.2 Automatische Texturierung aus Mobile Mapping

Eine höher auflösende automatische Texturierung der straßenseitigen Fassaden kann aus Mobile Mapping Aufnahmen gewonnen werden. Voraussetzung dafür ist eine in das System integrierte Panoramakamera, die die Fassaden in ihrer gesamten Höhe abbilden kann. Die Georeferenzierung der Aufnahmen sollte genauer als $\pm 10\text{cm}$ sein. Die Fassaden der Gebäudemodelle sollten nach dem aufstrebenden Mauerwerk modelliert sein, z.B. unter Verwendung der ALKIS Gebäudegrundrisse. Die Genauigkeit der Gebäudegrundrisse sollte bei ca. $\pm 10\text{cm}$ liegen. Die Abbildung 9 zeigt schematisch die Aufnahmesituation mit einem Mobile Mapping System.

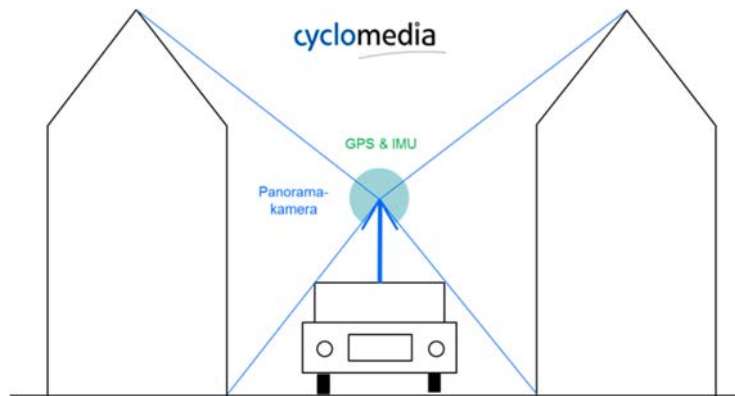


Abb. 9: Aufnahme von Gebäudefassaden, z.B. mit dem System CycloMedia (<http://www.cyclomedia.com/de/>)

Die Texturierung aus Mobile Mapping Aufnahmen haben wir in einem eigenen Modul unserer CityGRID Software implementiert. Unser Verfahren versucht, für jedes Fassadenelement die günstigste Aufnahmeposition zu finden. Bei einem Mobile Mapping System wie CycloMedia, welches Panoramaaufnahmen im Abstand von ca. 3 bis 5m macht, wird die Aufnahmeposition möglichst vor der Mitte der Fassade gewählt. Zusätzlich wird darauf geachtet, dass die Fassade möglichst nicht durch andere Gebäude verdeckt ist und dass die Fassade möglichst hochauflösend abgebildet ist. Aus der so ermittelten günstigsten

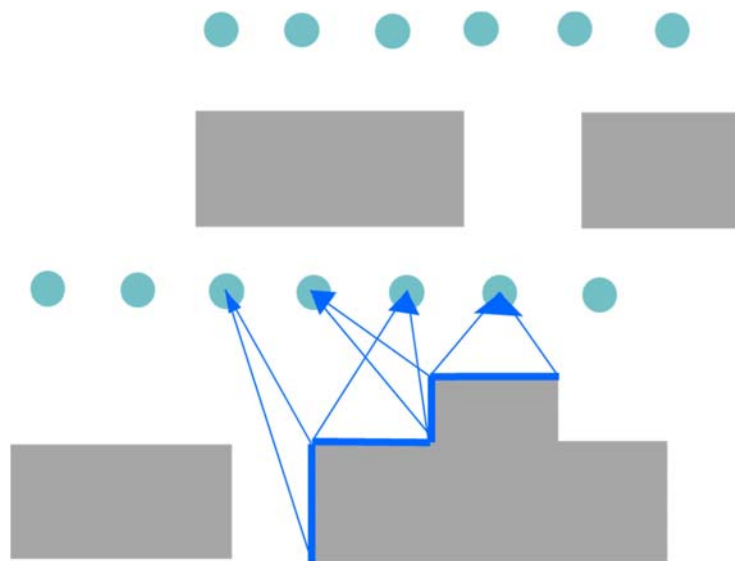


Abb. 10: Fassadentexturierung aus CycloMedia Aufnahmen, automatische Wahl der jeweils günstigsten Aufnahmeposition.

Aufnahmeposition wird schließlich das Panoramabild mit Hilfe der Abbildungsgleichungen auf das Fassadenelement projiziert und daraus die Fassadentextur generiert (siehe Abbildung 10). Die Abbildung 11 zeigt ein Ergebnis der automatischen Fassadentexturierung aus Mobile Mapping Aufnahmen. Da in diesem Fall die Quellbilder für die Texturierung auf einem externen Server der Firma CycloMedia lagen, betrug die Rechenzeit ca. 1 bis 3 Minuten pro Gebäude.



Abb. 11: Automatische Fassadentexturierung des Stadtmodells Freiburg aus CycloMedia Aufnahmen

Die automatisch texturierten Fassaden können in der Praxis gewisse Mängel aufweisen, z.B. Fehlabbildungen von Bäumen, parkenden Autos oder anderen Objekten vor der Fassade die nicht im Stadtmodell enthalten sind und die daher bei der Verdeckungsanalyse nicht berücksichtigt werden konnten. Für die schnelle Behebung besonders störender Mängel bieten wir in CityGRID auch einen semiautomatischen Modus an, mit dem interaktiv eine geeignetere Aufnahmeposition zur Texturierung einer bestimmten Fassade gewählt werden kann. Die meisten straßenseitigen Fassaden sind in 10 bis 20 Aufnahmepositionen abgebildet, so dass in ca. einer Minute pro Fassade eine alternative Aufnahmeposition mit geringeren Verdeckungen der Fassade gefunden werden kann.

Die automatische Fassadentextur kann aber auch als Arbeitsgrundlage für die feinere Fassadenmodellierung genutzt werden, z.B. durch Nachmodellierung von Erkern, Arkaden, Stiegen oder Balkonen. Diese interaktiven Modellierungen können mit der CityGRID Modeler Software auf einfache Art durchgeführt werden. Die Abbildung 12 zeigt einer solchen verfeinerten Fassadenmodellierung.



Abb. 12: Automatische Fassadentexturierung aus CycloMedia Aufnahmen mit anschließender interaktiver Modellierung von Arkaden, Stiegen, Erkern etc.

2.3 Fazit

Die von uns und unseren Kunden bislang durchgeführten Projekte zeigen, dass mit Hilfe der automatischen Texturierung aus Luftbildern ganze 3D Stadtmodelle mit geringen Zusatzkosten aufgewertet werden können. Besonders stark generalisierte Gebäudemodelle, wie sie derzeit von vielen Landesvermessungsämtern flächendeckend bereitgestellt werden, „profitieren“ von der automatischen Texturierung: Auch Gebäudedetails, die gar nicht modelliert wurden, sind nun erkennbar. Durch Verwendung von zusätzlichen aufgenommenen Schräg-Luftbildern kann eine Verbesserung der Fassadentextur erzielt werden, besonders in locker bebauten Gebieten. Auf jeden Fall sollte ein aus Luftbildern texturiertes Stadtmodell möglichst nur im Überflug-Modus visualisiert werden.

Mit hochauflösenden Aufnahmen von Mobile Mapping Systemen lässt sich eine weitere Verbesserung erzielen. Die aus solchen Aufnahmen automatisch texturierten Fassaden eignen sich nun auch für die Betrachtung aus der Fußgängerperspektive. Im Falle von besonders hohen Ansprüchen können Fehltexturierungen, z.B. von Bäumen oder parkenden Autos, interaktiv behoben werden. Unsere dafür entwickelten semi-automatischen Korrekturfunktionen stellen eine wichtige Ergänzung der automatischen Texturierung dar.

3 Literaturverzeichnis

- KRAUS K., 2004: Photogrammetrie 1: Geometrische Informationen aus Photographien und Laserscanneraufnahmen. 7. vollst. bearb. und erweiterte Auflage, DeGruyter 2004, 516 S.
- HIRSCHMÜLLER, H., 2005: Accurate and Efficient Stereo Processing by Semi-Global Matching and Mutual Information. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05), 2, S. 807-814.