

# DIE AUTOMATISCHE PHOTOGRAMMETRIE FÜR DAS MICROSOFT VIRTUAL EARTH SYSTEM<sup>1</sup>

Franz Leberl<sup>2</sup>  
Institut für maschinelles Sehen und Darstellen  
Technische Universität Graz  
Inffeldgasse 16, A-80101 Graz, Österreich  
[Leberl@icg.tu-graz.ac.at](mailto:Leberl@icg.tu-graz.ac.at)

## ZUSAMMENFASSUNG

Geodaten allerorts, jederzeit und in jedwedem gewünschten Detailreichtum – ein Traum? Das Internet macht's möglich. Die primäre Datenquelle sind die Luftbilder. Sie stellen das Rückgrat der globalen Datensysteme dar, in welche Details aus Quellen am Boden und aus Satelliten eingepasst werden.

Damit erhält die Photogrammetrie eine aufregende neue Anwendung, nämlich die Erstellung und Laufendhaltung globaler geometrischer Geodatenbanken zur Internet-Anwendung. Damit dies auch zu realistischen Kosten und in redlichen Zeitrahmen realisiert werden kann, wird es notwendig, die Automation in der Photogrammetrie in bisher ungeahnte Perfektion fort zu entwickeln. Die vollautomatische Aerotriangulation, das vollautomatische Höhenmodell, das automatische Orthophoto sind Themen neuer Bestrebungen, die mit dem Internet eine hohe Dringlichkeit erfahren. Möglich wird diese Automation durch die Verbesserung der Qualität der Bilder mit 12 bis 13 Bit Radiometrie statt der filmbasierten 7 bis 8 Bit, und die neue Wirtschaftlichkeit der digitalen Bildgebung und dem daraus folgenden gänzlich digitalen Arbeitsfluss. „Redundanz“ ist das Zauberwort. Unterstützt wird dies auch durch die spektrale Erweiterung um das nahe Infrarot, welches in der Erkennung und Klassifizierung von Objekten auf der Erdoberfläche eine grosse Rolle spielen kann.

## 1. ÜBERGANG ZUM DIGITALEN PHOTOGRAMMETRISCHEN ARBEITSFLUSS

Bild 1 zeigt eine digitale Luftbildkamera UltraCam-X der Firma Vexcel Imaging in Graz, welche global zum Einsatz kommt. Bild 2 ist das Ergebnis eines Bildfluges. Die Kosten für ein solches bildgebendes System liegen ausschliesslich in der jährlichen Abschreibung, es gibt praktisch keine Kosten pro Bild. Das erzeugt eine völlig neue Wirtschaftlichkeitsrechnung, denn es wird unerheblich, ob in einem Jahr nur 10,000 oder auch 150,000 Bilder erzeugt werden. Kosten für Film, Filmentwicklung, Filmabastung entfallen. Neben der Abschreibung bestehen nur mehr die Kosten für den Flugbetrieb, der sich aus einem Jahresbudget für vielleicht minimal 300 bis maximal 700 Flugstunden veranschlagt.

Die Verarbeitung der Bilder folgt direkt nach der Landung des Flugzeuges nach dem Bildflug. Diese Verarbeitung beinhaltet die Umwandlung der gesammelten „Level-0“-Rohdaten in ansprechende „Level-3“-Farb- und Farbinfrarotbilder (das sogenannte Post-Processing). Es folgt die Verknüpfung der Bilder mit der direkten Geopositionierung mittels DGPS und Inertialmessung mittels IMU, sodass eine direkte Herstellung von Orthophotos in jenen Fällen möglich wird, welche auf einem bestehenden Höhenmodell aufsetzen. Keine Aerotriangulation, keine Ableitung eines Höhenmodelles.

In anderen Fällen mag man an eine Verarbeitung via Aerotriangulation und intern erzeugtes Höhenmodell DHM denken, welche schliesslich in einem traditionellen Orthophoto oder aber in einem sogenannten „true“ Orthophoto resultiert.

---

<sup>1</sup> Vortrag bei der Geodätischen Woche in Obergurgl, Tirol, am 12. Februar 2007.

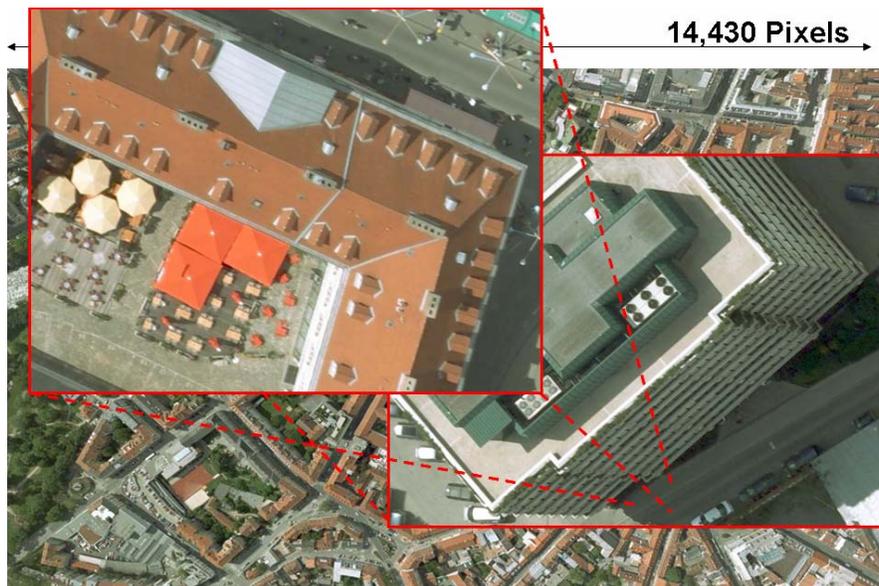
<sup>2</sup> Auch teilzeitbeschäftigt bei Microsoft Corporation, Redmond (USA) mit einer Teilkarenzierung von der Technischen Universität Graz

Dieses Ausmass der gänzlich digitalen Verarbeitung sollte bis zu 90% des manuellen Arbeitsaufwandes einsparen können. Allerdings sind dazu Software- und Methodenentwicklungen notwendig, welche derzeit noch ausstehen. Wir wollen den derzeitigen Stand der Entwicklungen Revue passieren lassen.



**Bild 1:**

Das UltraCam-X System, Vexcel Imaging GmbH, Graz. Bildgrösse 14430 x 9620 Pixel. Panchromatisch-Rot-Grün-Blau-Infrarot in jedem Bild. Die Sensoreinheit (rechts) mit Daten- und Rechereinheit (links) und Nutzerdisplay mit Echtzeitwiedergabe (Vordergrund)



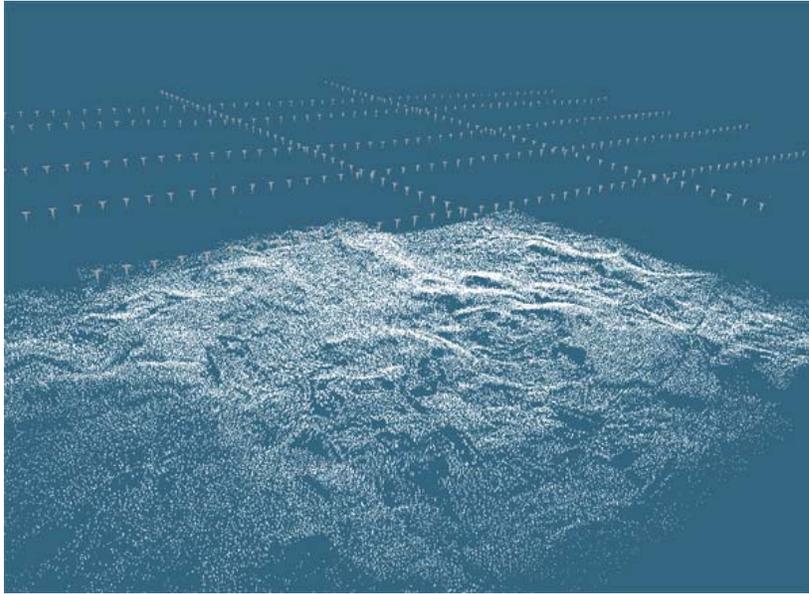
**Bild 2:**

Beispiel eines Vollbildes in R-G-B aus der UltraCam-X mit einer Bildbreite von 14 430 Pixeln. Details zeigen die geometrische Auflösung mit 8 cm Pixeln. Graz-Zentrum.

## 2. AEROTRIANGULATION

Warum sollte die Aerotriangulation (AT) nicht gänzlich automatisch ablaufen können? Von einem manuellen Aufwand von etwa 1 Stunde pro Bild vor noch etwa 10 Jahren ist heute ein reduzierter Aufwand von vielleicht 6 Minuten pro Bild erzielbar, wobei dies die Verwendung von abgetasteten Filmbildern betrifft, also einen nahezu voll digitalen Arbeitsfluss voraussetzt.

Was nun mittels erhöhter Redundanz möglich wird, ist die Verknüpfung vieler Bilder, die sich nur wenig voneinander unterscheiden. Damit wird die Bildüberlagerung robuster und mit der Erhöhung der Zahl der Verknüpfungspunkte wird die Automatisierung verlässlicher, wenn auch die Gleichungssysteme grösser werden. Bild 3 zeigt das Beispiel eines Bildverbandes mit 350,000 Verknüpfungspunkten, welche etwa 350 Bilder miteinander verbinden. Die typische Ungenauigkeit eines solchen Bildblocks drückt sich in einem Sigma-Null Wert von etwa  $\pm 1,5 \mu\text{m}$  aus.



**Bild 3:**

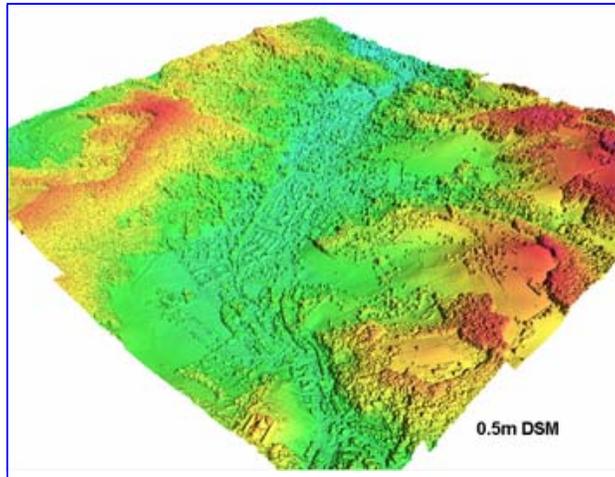
Ergebnis einer automatischen Aerotriangulation mit etwa 350 Bildern in 7 Bildstreifen in Graz-Mariatrost und 350 000 Verknüpfungspunkten.

### 3. HÖHENMODELLE

Die Unmittelbarkeit einer Punktwolke durch die Direktbeobachtung des Abstandes Flugzeug-Geländeoberfläche hat in den letzten Jahren zu einer massiven Akzeptanz des LIDAR- & Laserscanning geführt. Wie in Bild 4 zu sehen ist, kann aber auch die automatische Photogrammetrie nun ein sehr vollständiges und ohne Handarbeit gefertigtes digitales Höhenmodell erzeugen, in welchem keine groben Ausreisser und Löcher bestehen. Weil der Datenfluss völlig digital ist, wird das Ergebnis im wesentlichen auch unmittelbar nach der Befliegung bereitstellbar. Die Photogrammetrie wird gegenüber dem LIDAR-Abtasten wieder wettbewerbsfähig. Nicht nur wird das DHM erzeugt, es wird dieses DHM auch über Bildstreifen hinweg konsistent und aneinander angepasst, und es gestehen die dazugehörigen Orthophotos in R-G-B und Infrarot.

Der Grund für den plötzlichen Erfolg des photogrammetrischen Verfahrens ist die „Redundanz“ – da ein Bild keine Zusatzkosten verursacht, können Befliegungen mit 80% oder 90% Vorwärtsüberlappung geplant werden, sodass jeder Bodenpunkt innerhalb eines Bildstreifens vielleicht auf 5 bis 10 Bildern aufscheint, und wenn man mit 60% Seitenüberlappung fliegt, dann verdoppelt sich die Zahl der Beobachtungen. Damit reduzieren sich die verdeckten Flächen, es wird die Lösung besonders stabil und robust, es werden grobe Messfehler automatisch eliminierbar, die scharfen Kantenübergänge, etwa bei Gebäuden, sind darstellbar.

Neuere Ansätze zum digitalen Höhenmodell erzeugen nicht nur Punktwolken, sondern suchen auch eine Messung von Kantenstücken, welche zu Bruchlinien zusammengefasst werden. Die Auftrennung der Punkt- und Kantenwolken in ein DHM der „kahlen Erde“ und der darauf befindlichen Objekte wird durch die Objektklassifizierung mittels der Farbwerte unterstützt.



**Bild 4:**

Automatisch erstelltes digitales Höhenmodell um Graz aus UltraCam-D Bildern mit 80% Vorwärtsüberlappung. Erzeugt mittels Multiray-Matching am Institut für Photogrammetrie der ETH-Zürich (Prof. Armin Grün und Dr. Manos Baltsavias). Zu beachten ist das Fehlen von Ausreißern, etwa in der Form von „Nadeln“, und das Fehlen von Löchern.

## 4. ORTHOPHOTOS

Das Orthophoto hat als Vermessungsergebnis eine wechselvolle Geschichte, die sich zuletzt durch die digitale Bildbearbeitung glänzend gestaltete. Heute ist das traditionelle Orthophoto wohl das häufigste Endergebnis einer photogrammetrischen Vermessung. Die Kosten dieses Orthophotos werden allerdings durch die notwendigen manuellen Arbeiten bestimmt und sind bis heute recht hoch. Dabei wird dem Rohbild aus der Befliegung ein hoher Wert hinzugefügt. Das Orthophoto selber ist nicht das Vermessungsprodukt, sondern es ist die Verknüpfung von mehreren einander überlappenden Orthophotos in ein Orthophoto-Mosaik oder eine mit Beschriftungen und Namen versehene Orthophotokarte.

Neu ist das sogenannte „true“ Orthophoto, also ein Orthophoto in welchem die vertikalen Objekte auf der Geländeoberfläche auch geometrisch korrigiert dargestellt sind. Während ja im traditionellen Orthophoto die Gebäude und Vegetation nicht korrigiert werden und daher mit Reliefverschiebungen abgebildet sind, ist dies im True Orthophoto nicht mehr der Fall. Wenn man in traditionellen Orthophotos die Gebäudefassaden noch sehen kann, sind die Fassaden im True Orthophoto durch die Dächer zur Gänze verdeckt. Weil in einem True Orthophoto die Fassaden nicht mehr erkennbar sind, wird manchmal davon gesprochen, dass das True Orthophoto keine Zukunft habe.

Das Höhenmodell zum traditionellen Orthophoto beschreibt die „kahle Erde“. Das Höhenmodell des True Orthophoto beschreibt die Fläche, welche aus dem Flugzeug wahrgenommen wird (Digital Surface Model versus Digital Terrain Model).

Bild 5 ist ein Ausschnitt aus einem traditionellen Orthophoto aus dem Stadtzentrum von Toronto, in welchem die vertikalen Objekte, etwa die Gebäude, perspektivisch verzerrt dargestellt werden und nur die „kahle Erde“ in einer Orthogonalprojektion wiedergegeben wird. Orthophotos können zur Gänze automatisch erstellt werden, wobei bei hoher Bildüberlappung ein geeignetes Verfahren bestehen muss, die „beste“ Ansicht in das Orthophoto zu übertragen.

## 5. DREIDIMENSIONALE STADTMODELLE

Ob das Orthophoto Zukunft hat, wird weniger von der Frage „traditionell“ versus „True“ bestimmt werden, sondern eher durch die Verbreitung der 3-dimensionalen Welt der Benutzerschnittstellen und der

sogenannten „gemischten Wirklichkeit“ (englisch „Mixed Reality“), welche wir als Virtual Reality oder auch Augmented Reality erfahren. Bild 6 zeigt ein völlig automatisch erstelltes Modell der Stadt Graz, in welchem im Gegensatz zum Orthophoto auch die Fassaden eine eigene Geometrie und Textur erhalten.

Triebfeder für die Erstellung solcher 3-D Stadtmodelle ist nun das Internet mit seinen Entwicklungen von Microsoft unter dem Namen Virtual Earth und von Google unter dem Namen Google Earth. Wenn die „Killeranwendung“ Internet eine rasche Erstellung und Laufendhaltung von 3D Stadtmodellen begründet, dann werden sekundäre Anwendungen nicht lange auf sich warten lassen, und sei dies die Dokumentation der Infrastruktur, die Bürgerbeteiligung bei Planungen, der Katastrophenschutz, die Navigation im Verkehr, der Tourismus usw.



**Bild 6:**

Ausschnitt einer Szene der Innenstadt von Toronto, aufgenommen mit der UltraCam-D der Firma Airborne Sensing. Pixelgrösse ist 3 cm im Gelände und 2 cm am Dach des Gebäudes. Links oben ist ein grösserer Bildausschnitt, aus dem rechts oben ein Detail mit Fussgänger und Auto herausgeschnitten wird. Unten ist die Darstellung eines Gebäudes mit seinen 32 Stockwerken, welches im Orthophoto perspektivisch verzerrt wiedergegeben wird.

## **6. ERWEITERUNGEN DES DETAILREICHTUMES**

„Locational Awareness on the Internet“ ist das Schlagwort für die Internetsysteme mit Geodaten. In der Eigendynamik dieser Entwicklung liegt es, dass der Appetit auf Detailreichtum wächst. Wenn man heute von einem Datengebilde auf der Basis von 15 cm Pixeln spricht, so stellt sich die Frage, wie detailreich

denn die Datenbank sein soll – wie steht es um Autos, Bäume, Passanten, Firmenschilder usw? Sollen diese modelliert werden oder nicht? Und wie geht man mit den Verdeckungen und Verzerrungen um, welche sich naturgemäss aus der Luft für die interessantesten Szenen jeder Stadt ergeben, nämlich die aus der Fussgängersicht wahrzunehmenden Fassaden und Geschäftsportale.

Bill Gates wurde als Gründer von Microsoft im März 2005 in den Medien zur Ankündigung des Microsoft-Systems „Virtual Earth“ wie folgt zitiert:

*"You'll be walking around in downtown London and be able to see the shops, the stores, see what the traffic is like. Walk in a shop and navigate the merchandise. Not in the flat, 2D interface that we have on the web today, but in a virtual reality walkthrough."*

Um dieser Vision gerecht zu werden, muss der Detailreichtum sehr weitgehend über jenen eines einfachen Orthophotos hinausgehend verfeinert werden. Das kann mit Mitteln der Computer Vision erfolgen, wie dies im Beispiel des Bildes 7 dargestellt wird. Jedes Auto kann von der Strasse entfernt werden, es kann ein Automodell an Stelle des Bildinhaltes gesetzt werden, jeder Baum kann erkannt und durch ein Baummodell ersetzt werden. In der Computer Vision spricht man von „Recognition“ in Verbindung mit „Reconstruction“, ein heisses neues Forschungsthema..

Ganz besonders aber ist die Erweiterung des Luftbild-generierten 3D Modelles durch Daten aus dem Strassenniveau. Dazu sind noch im Laufe des Jahres 2007 bedeutende Entwicklungen in den Internet-Systemen von Microsoft und Google zu erwarten.



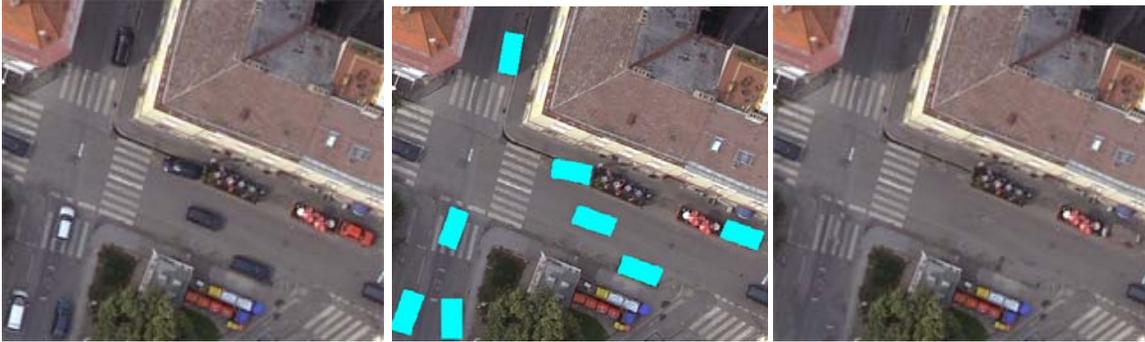
**Bild 6:**

Vollständig automatisch erstelltes 3D Modell der ganzen Stadt Graz aus 1007 UltraCam-D Bildern mit 12,5 cm Pixeln. Rechenzeit etwa 200 Stunden an 4 PCs. Manueller Aufwand zur Prozesssteuerung etwa 8 Stunden.

## 7. AUSBLICK

Wir haben dargestellt, dass eine vollautomatische photogrammetrische Arbeitsweise möglich ist und haben dies mit einigen Beispielen belegt. Was dies bewirkt, ist eine völlige Neubewertung der Kosten von Geodaten. Wenn es in der Tat gelingen sollte, 90% aller manuellen Arbeiten zu eliminieren, dann reduzieren sich auch die Kosten für die Ergebnisdaten um einen Faktor 10. Wenn aber die Budgets für Daten konstant bleiben sollten, dann bedeutet dies die Möglichkeit, 10 mal mehr digitale Geodatenbestände

aufzubauen und laufend zu halten, als bisher angedacht wurde. Zehn Mal mehr? Das kann zu 3-dimensionalen Datenbeständen im Bereich von 5 cm bis 15 cm Pixeln führen, die jährlich erneuert werden.



**Bild 7:**

Bildausschnitt eines UltraCam-X Bildes von Graz mit Erkennung von allen Autos in der Szene und automatischem Ersetzen der Bildtextur der Autos durch generische Umgebungstextur.

Die Rolle des Laserscanning steht zur Disposition. Die Rolle des 2D Orthophotos ist zu hinterfragen. Ein Zugang zu Geodaten an allen Orten und zu jeder Zeit kann ungeahnte Folgen haben. Und schliesslich wirft dies alles auch die Fragen des Datenschutzes und des nationalen Hoheitsanspruches auf – in Indien, China und Russland sind die neuen digitalen Geodaten, Autonavigationshilfen, Satelliten- und Luftbildmöglichkeiten dabei, das Luftbild als staatliches „Geheimnis“ zu untergraben.

Das Internet wird sich als Motor und Killeranwendung der 3-dimensionalen Daten etablieren, sodass die Internetsuchmaschinen wesentliche Betreiber von einzigartig detaillierten Geodatenbeständen werden. Eine globale Geodatenbank in 3D wird heute mit einem Datenvolumen von etwa 22 Petabytes veranschlagt, welche via Internet an jedem Ort der Welt abzufragen sein sollten.

Diese globalen 3D Datenbestände werden nicht nur die „Suche“ im Internet beflügeln, sondern sie werden auch andere Anwendungen begründen. Ein offensichtlicher Fall ist die Navigation im Auto, welche auf photorealistische 3D Geodaten umsteigen wird. Welche Rolle wird das für die nationalen Geodatenzentren, etwa in Österreich für das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen haben?