



Aufbau und Nutzung einer virtuellen Erde im Internet

Franz Leberl, Michael Gruber, Graz

Kurzfassung

Das Exabyte-3D Weltmodell im Internet steht zur Diskussion. Die globale Kommunikation entwickelt zunehmend Anwendungen mit einem Ortsbezug, etwa beim Ersatz der Telefon- und Gelben-Seiten-Bücher durch die Geschäfts- und Adressen-Suche im Internet, bei der Navigation im Fahrzeug und mittels Smart Phones, im e-Commerce, zum Beispiel beim Handel mit Liegenschaften oder bei der Urlaubsplanung und bei Hotelbuchungen. Dazu bieten einige globale Anbieter von Internet-Suchmaschinen 2- und 3-dimensionale Modelle der Erde, die in einzelnen urbanen Räumen Einzelheiten bis in den Zentimeter-Bereich auflösen. Hoheitliche, aber lokale 3D-Regionenmodelle entstehen als Erweiterung des GIS für eine breite Verwendung in der Planung, Verwaltung, Bürgerbeteiligung und in technischen Projekten in städtischen Räumen.

Der Aufbau solcher 3D-Modelle erfolgt mittels Satelliten- und Luftbildern, Laser-Abtastungen, Sensordaten aus fahrenden Autos oder aus manuell gewonnenen Standbildern, und auch Innenräume werden mit geeigneten Sensoren erfasst. Im Vollausbau werden diese Systeme vielleicht 1 Exabyte an Daten verwalten und laufendhalten müssen. Wir bewerten die Datenerfassungsmethoden und automatischen Verfahren des Modellaufbaus mit Genauigkeiten im Sub-Pixelbereich. Wir projizieren den Status-Quo in eine Zukunft mit interpretierten Objekten, aus welchen die interaktiven Darstellungen visualisiert werden. Und wir präsentieren einige Anwendungsbeispiele.

Schlüsselwörter: 3D Photogrammetrie, Photorealismus in Stadtmodellen, Internet-Weltmodell, Gebäuderekonstruktion, Straßenbilder, Digitale Luftbilder, Semantische Bild-Interpretation.

Abstract

At issue is the Exabyte 3D World Model in the Internet. Global communication is increasingly developing applications with location-references. Examples are the search for addresses and businesses on the Internet, navigation in cars and on smart phones, e-commerce, for example in real estate, travel planning and searches for hotels. Some global Internet providers have begun to provide 2- and 3-dimensional models of the Earth at geometric resolutions in some urban spaces in the range of 2 centimeter. Governmental local systems have started to be built in the form of a 3D GIS for a broad range of applications in planning, administration, citizens' participation and for technical projects.

Creation of these models can be based on space and aerial imagery, laser scanning, sensors in street vehicles or hand carried, to include even interior spaces. Once fully available, one will have to deal with perhaps 1 Exabyte of data, first to initialize the system, then to keep it current. We will review automated procedures to create the models at accuracies in the sub-pixel range. We project for the future an increasing need to build interpretations of the elements of, and objects in urban areas so that interactive visualizations will be computer generated rather than simply presentations of colored point clouds or polygonal facets. We also will speculate on some of the interesting applications of such a World model.

Keywords: 3D photogrammetry, Photorealistic urban 3D models, Internet World Model, Building reconstruction, Street-level imagery, Digital aerial photography, semantic image interpretation.

1. Digitale Geodaten

1.1 Technologie-Genese:

Digitalisierung von Karten und Plänen

Als in den späten Jahren 1970 das Rechnerwesen soweit entwickelt war, dass diverse hoheitliche Organisationen mit der massenweisen Digitalisierung aller Karten und Pläne begannen (genauso wie dies übrigens auch im betrieblichen Bereich des Maschinenbaus mit den Konstruktionszeichnungen modern wurde), war die Motivation eine Erleichterung der Speicherung,

die Einfachheit der Laufendhaltung und des Kopierens als auch die Flexibilität der Visualisierung via einen Ausdruck in jedwedem Maßstab. Festzuhalten ist dabei erstens, dass diese geographischen Daten in Analogie zu Landkarten durchwegs 2-dimensional angelegt waren und etwaige Höhen nur als Attribut den 2D-Punkten zugeordnet wurden. Zweitens veränderte der Übergang zur Digitalform zunächst nichts an der typischen Bedeutung dieser Daten, denn sie blieben Werkzeug von Spezialisten. Erst das Internet konnte diese Einschränkung beenden.

1.2 Technologie-Genese: Automatisierter Verkauf digitaler Geodaten

Digitale Straßenkarten werden seit Mitte der Jahre 1990 routinemäßig auf Datenträgern verkauft. Zum Beispiel konnte man von Microsoft diverse Produkte wie TripPlanner, Encarta, Streets&Trips oder MapPoint erwerben, welche auf Basis von digitalen Straßendaten die Routenplanung von automotiven Transportsystemen verbesserte (Leberl, 2009). Das weit gestreute Interesse an Straßendaten hatte die Verbreitung des persönlichen Rechnens zur Voraussetzung. Der Siegeszug des Internet hat diese Art des Datenverkaufs sehr beflügelt. Auch Satellitenbilder und Orthophotos ergänzten sehr bald das Angebot an digitalen Geodaten. Erste Initiativen für den Verkauf von Satellitenbildern entstammen allerdings diversen Raumfahrtprogrammen und der daraus inspirierten Internet-unterstützten Suche nach und dem Erwerb von Satellitenbildern der Erde und Planeten. In Europa entwickelte sich das Projekt CEO (Center for Earth Observation) als umfassender Zugang zu Fernerkundungsdaten Europas (Leberl und Kalliany, 1995). Der nationale e-Commerce mit Geodaten wird am Beispiel Österreichs durch das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen illustriert (Ernst, 2007; BEV, 2009). Zweck dieser Angebote war die Erleichterung und Automatisierung des Datenverkaufs. Via interaktiver Präsentation von 2D-GIS-Daten wurde und wird das Angebot dargestellt und die Auswahl und Auslieferung automatisiert.

Der Verkauf von Geodaten via Internet bleibt weiterhin ein kleines Segment des e-Commerce. Das Internet bewirkt aber, dass der Kreis der Interessenten über den der traditionellen Geoexperten hinauswächst.

1.3 Technologie-Genese: Erweiterte Geodaten-Anwendung im GIS

Der weit interessantere Grund zum Übergang in die Digitalform von Geodaten ist die Anwendung des Computers für eine intelligente Organisation und interaktive Verwendung dieser Daten. Damit sind wir bei der Idee und dem Aufbau von geographischen Informationssystemen GIS. Dies begann relativ früh mit dem kanadischen Geographic Information System ab etwa 1962 (Tomlinson, 1967), daher lange vor der Verbreitung des Internet und mehr als 10 Jahre vor der erstmaligen Realisierung des persönlichen Rechnens. Man kann dies zunächst als Weiterentwicklung des traditionellen Kartenwesens in der Nutzung durch Experten verstehen, setzt aber in allen Fällen die Nutzung eines Rechners voraus.

Mit dem Siegeszug des GIS wurde die Digitalform der Geodaten die Basis einer selbstverständlichen Erweiterung der Anwendungen um die interaktive Analyse, der Fundamentalidee von Tomlinson.

1.4 Technologie-Genese: Automotiv Navigation fordert digitale Geodaten

Eine Vorstellung zukünftiger Entwicklungen wurde durch das Interesse an einer interaktiven automotiven Navigation sichtbar, die ab etwa 1985 eine erste praktische Anwendung mit dem System von ETAK erfuhr (Etak, 2009), in welches digitale Straßendaten eingespeist waren. Es war diese Anwendung, welche die weltweit aggressive Erstellung digitaler Straßendaten und den Aufstieg der zwei wesentlichen Firmen in diesem Bereich begründete, Teleatlas und Navteq. Relevant ist hier, dass noch 10 Jahre vergehen mussten, bis das GPS ab etwa 1995 breite Verfügbarkeit erlebte und mit dem Einbringen der eigenen Position der Übergang von der einfachen Reiseplanung zur automatisierten Navigation möglich wurde. Damit verließen digitale Geodaten erstmals und unabhängig vom Internet den Fokus auf Experten und wurden für jedermann von Interesse.

2. Ortsbezug im Internet

2.1 Suche im Internet

„Search“ oder Suche im Internet ist ein völlig neues Wirtschafts-Phänomen, welches sich vor allem durch das dramatische Wachstum einer Firma, nämlich Google, dokumentiert. Gegründet wurde Google im Jahr 1999, einen Jahresumsatz von US\$ 20 Milliarden erreichte sie 10 Jahre später im Jahre 2008, und all dies mit nur einer Dienstleistung, nämlich der Suche im Internet. Das Geschäftsmodell beruht auf Reklameinschaltungen, die Nutzung selber ist gratis. Die gesellschaftliche Bedeutung der „Suche“ im Internet ist zunächst unabhängig von der Einbindung von Geodaten gewachsen.

Allerdings begann 2005 eine Ergänzung der Suche durch Geodaten, indem zunächst 2D-Straßenkarten zur Steuerung einer Suche angeboten wurden. Es dauerte nur kurze Zeit, um die dritte Dimension zunächst in Form eines digitalen Topographiemodelles einzubringen und dann die Informations-Dichte der 2D geographischen Information mittels Luftbildern zu erweitern (Abbildung 1).

Heute sind die Geodaten nicht mehr aus den Suchportalen gewunden.

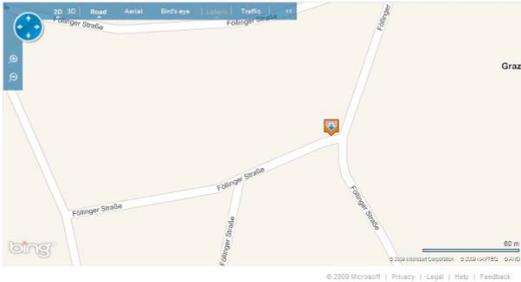


Abb. 1: Beispiel einer 2D Straßenkarte im System BING Maps [www.bing.com/maps], wo Gebäudesymbole fehlen und daher im großen Maßstab kaum noch Information angeboten wird (links). Die Zufügung des Orthophotos erweitert die Information ganz wesentlich (rechts). Beispiel aus Graz-Mariatrost-Föllingerstraße.

2.2 Navigation und Internet

Es war die automotiv Anwendung digitaler Geodaten zur Reiseplanung und Navigation, welche die Erzeugung von Straßendaten der ganzen Welt verursachte und wirtschaftlich begründete. Das Internet erweiterte dies einerseits um die Anwendung am PC, Laptop und Mobiltelefon. Andererseits mutierten die reklame-finanzierten Suchsysteme im Internet zu einer Konkurrenz der dedizierten Navigationshilfen; und mit der GPS-Integration entsteht daraus ein Navigationssystem am Laptop und Smart Phone, wobei gerade letzteres als eine wesentliche Bereicherung der Internet-Anwendungen gilt und in den Bereich der mobilen Augmented Reality hineinwirkt (Abbildung 2).

Die Firma Mapquest erreichte als frühe Inselösung für die Reiseplanung in Nordamerika den größten Marktanteil bei diesem Anwendungsegment (MapQuest, 2009; heute im Besitz von AOL).

2.3 e-Commerce

Es wurde schon eingangs darauf hingewiesen, dass der Verkauf von Geodaten am Internet ein Zweig des e-Commerce darstellt. Der Ortsbezug

wird beim Handel mit Liegenschaften und beim Reisen, etwa bei Hotelreservierungen, deutlich. Die Bewertung von Liegenschaften führt zu Anwendungen des Geomarketing. Diverse Location-Based Services (LBS) verknüpfen das Internet mit Geodaten (siehe zum Beispiel Gartner und Rehr, 2008).

2.4 Das Internet-der-Dinge

Objekte in Museen oder Teile in einer Autofertigung sind wertvoll, werden katalogisiert und laufend überwacht. Mit dem seit etwa Mitte des letzten Dezenniums diskutierten „Internet-der-Dinge“ verbreitet sich diese Objektsorge in neue, gemeinhin als weniger wertvoll empfundene Objektkategorien. Das Internet-der-Dinge entsteht, wenn man ein drahtloses Netzwerk mit Objekten aller Art verbindet. Kern ist zunächst die Technologie der Radio Frequency Identification RFID, welche als sehr kleine Markierung eine Verbesserung der Supermarkt-Warenstrichkodierung darstellt. Jedem Objekt wird eine RFID-Markierung aufgeklebt oder bei der Fertigung eingebracht; das kann auch Lebewesen betreffen, seien es weidende Nutztiere oder wir

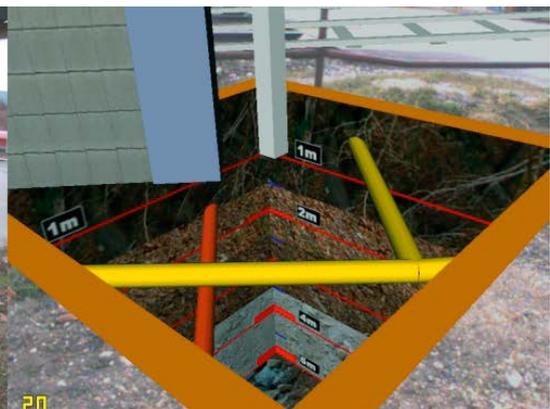


Abb. 2: Augmented Reality am Smart Phone verknüpft das Bild der Natur (links) mit einem aufgrund eines bestehenden Modells berechneten Objekts (rechts, ein virtueller Schacht). Beispiel aus Projekt Vidente (2009).

selber mit unseren diversen Ausweisen. Statt der Webseiten werden nun diese Objekte oder Lebewesen „durchsucht“, es wird geprüft, wo etwas ist und welchen Bezug es zu anderen Objekten hat. Die erste Anwendung geht auf die militärische Freund-Feind-Unterscheidung zurück. Moderne Internet-basierte praktische Produkte sind wohl noch etwas auf der „spielerischen“ Seite. Die Markierung muss gelesen werden, um den Ort des Objektes sichtbar zu machen. Dieses Lesen und Sehen ist Gegenstand von Sensoren, die zunehmend in Betrieb gehen und beobachten können. Die Reaktion auf diese Entwicklung ist teils ungeduldig enthusiastisch (O'Reilly und Batelle, 2009), teils voll Sorge über die zunehmende Überwachungsmöglichkeiten (van Kroenburg, 2008).

Noch wird der Zusammenhang mit einem 3D Weltmodell nicht diskutiert, vielleicht auch nicht verstanden? Wenn aber die Frage nach dem „Wo“ besteht, dann betrifft dies sowohl diese markierten Objekte („die Dinge“ und Lebewesen, etwa im Sinne von „wo ist meine Brille?“ oder „wo ist Franz?“) als auch die beobachtenden Internet-fähigen Sensoren. Dann wird schnell verständlich, dass Anwendungen des Internet-der-Dinge einen Ortsbezug aufweisen und ein Modell jedes Ortes notwendig wird, an dem sich identifizierbare Objekte und Lebewesen befinden. Zumindest der Ort jedes Sensors wird bekannt sein müssen, und wenn sich der Sensor bewegt, so ist damit zu rechnen, dass das GPS zu Hilfe genommen wird.

3. Die Virtuelle Stadt aus Luftbildern

Der Verkauf von Geodaten in 3 Dimensionen, das GIS in 3D, die Navigation in urbanen Räumen und nun vor allem die Internetsuche begründen das explosionsartig wachsende Interesse an 3-dimensionalen Stadtmodellen.

Das Umfeld aus dem Bestand an digitalen Geodaten und aus wachsenden Ideen zu ihrer Anwendung hat ab 2005 dazu geführt, dass das Internet mit einem digitalen geografischen Weltmodell erweitert wurde. Google, Microsoft, Yahoo und Ask brachten erste globale 2-dimensionale Systeme zur Anwendung, AOL erwarb Mapquest und diverse lokale Anbieter ergänzten dieses Angebot durch nationale Lösungen (Herold, 2009; Klicktel, 2009). Als Datenbasis fungierten die aus der automotiven Navigation entstammenden Straßenkarten. Diese wurden sehr schnell durch 2D-Bilddaten ergänzt. Der Wunsch, rasch global präsent zu sein, führte zur Verwendung von globalen Satellitenbildsystemen wie jene von

DigitalGlobe (Quickbird, Worldview-1) oder von GeoEye (Ikonos, GeoEye-1).

3.1 Annäherung an die dritte Dimension via Schrägansichten

Unsere Umgebung ist drei-dimensional, aber 2D-Landkarten, Straßenkarten und Orthophotos können den Wunsch nach der 3. Dimension nicht befriedigen. Microsoft führte daher 2006 Schrägaufnahmen aus der Luft ein (ein System der US-Firma Pictometry, in Europa vertreten durch die norwegische Firma Blom ASA mit ihren in ganz Europa verteilten Unternehmen). Mit den Schrägaufnahmen wird intuitiv die dritte Dimension via ein Bild der Hausfassaden dargestellt, die in Straßenkarten und Orthophotos fehlen. Abschnitt 4.3 und Abbildung 10 gehen näher auf dieses Thema ein.

3.2 Digitaler photogrammetrischer Arbeitsfluss

Der Wunsch nach einer 3D-Erfahrung der urbanen Räume erfordert die Erstellung von städtischen Gebäudemodellen. Microsoft entwickelte dazu das weitestgehende System, während etwa Google 3D-Daten im wesentlichen aus gegebenen Beständen zukaufte. Yahoo und Ask als auch AOL/Mapquest ingorieren bisher die 3. Dimension. Bei Microsoft besteht als Ergebnis der Entwicklungen seit 2006 ein automatischer photogrammetrischer Workflow, der es gestattet, aus Luftbildern pro Jahr etwa 400 Städte in 3D zu modellieren.



Abb. 3: Microsofts www.bing.com/maps zeigt dieses Beispiel eines automatisch erstellten 3D Stadtmodells mit interpretierten Bäumen und allen Häusern. Die Hausfassaden werden aus Vertikalbildern modelliert, sind aber mittels Schrägaufnahmen texturiert. Das Gebiet ist das Capitol in Denver (USA). Dieses Detail besteht derzeit nur in US-Städten.

Abbildung 3 zeigt ein Ergebnis als Beispiel dieses Verfahrenablaufes: es wird jedes Gebäu-



Abb. 4: 5000 Rechner in Containern außerhalb eines Bürogebäudes in Boulder (USA, links). Diese Auslagerung verringert die Probleme mit der Kühlung, der Lärmbelästigung und den Vorrichtungen zum Strombedarf (rechts das Innere eines Containers mit den Parallelrechnersystemen der Firma Verari).

de gesondert dargestellt und durch Flächenstücke definiert. Die Gebäude werden auf die kahle Erde in Form eines dichten Digitalen Höhenmodells aufgesetzt. Bäume werden erkannt und durch computergrafische Baummodelle ersetzt. In Beiträgen zur geodätischen Woche Obergurgl 2007 und 2009 wurde dieser photogrammetrische Arbeitsfluss beschrieben (Leberl, 2007; Leberl und Gruber, 2009). Zusammenfassend sei wiederholt, dass der Erfolg eines automatischen Verfahrens von folgenden 6 Faktoren bestimmt wird:

1. Exzellenz in der Bildgebung mit sehr hoher radiometrischer Leistung zur Sicherstellung des Erfolgs automatischer Bildanalyseverfahren (an die 13 Bit \rightarrow 7000 Grauwerte);
2. Intelligente Bildbefliegung zur Erzeugung hoch-redundanter Bildblöcke mit 10 bis 20 Bildern je Objektpunkt;
3. Voll-automatische Aero-Triangulation unter Nutzung der Redundanzen und mit weitestgehender Modellierung systematischer Restfehler und mit Genauigkeiten von etwa $\pm 1 \mu\text{m}$;
4. Vollautomatische Erstellung eines dichten Höhenrasters mit Nutzung der Bild-Redundanzen und mit Höhenwerten im Abstand von 2 Pixeln;
5. Höchstmögliche geometrische Höhen-Genauigkeit im Sub-Pixelbereich;
6. Größtmöglicher geometrischer Detailreichtum durch Befliegungen mit 10cm Bodenauflösung, manchmal sogar mit noch kleineren Pixeln.

Diese Anforderungen führen zu großen Datenmengen. Für das Beispiel von Graz (8 cm Pixel) mit einer Vorwärtsüberlappung von 80% und einer Seitenüberlappung von 60% ergeben sich

3300 Bilder mit 0,5 Gigabytes pro Bild und daher insgesamt 1,5 Terabytes an Eingangs-Daten.

Die Verarbeitung solcher Datenmengen in einer akzeptablen Zeitspanne macht die Verwendung von hochparallelen Rechnern unvermeidbar. In Microsofts Anwendung wird ein Arrangement mit 5000 CPUs verwendet (Abbildung 4).

3.3 Die Rolle der Überbestimmung

Mit dem Übergang vom Filmbild zum Digitalbild entfallen alle Materialkosten pro Bild und es entfällt die wirtschaftliche Begründung für die bisherige (nicht redundante) Minimalüberlappung mit nur 2 Bildern je Objektpunkt für den Stereoeffekt. Eine dichtere Überlappung würde zu höherer Redundanz und dadurch zu einem robusteren und genaueren Datenprodukt führen. Mit dem Übergang vom Zweibild-Stereo zur so genannten Multiview-Geometry, etwa nach Hartley und Zissermann (2003), sind auch methodische Werkzeuge entstanden, welche diese höheren Redundanzen zur Anwendung bringen können.

Es sollte intuitiv einleuchten, dass mit 10 oder 20 Bildern pro Objektpunkt die Verdeckungen in urbanen Hausschluchten und die groben Fehler automatischer Messverfahren reduziert werden. Aber auch die geometrische Genauigkeit wird erhöht. Gruber und Ladstätter (2006) haben gezeigt, dass eine Steigerung der Genauigkeit in der Höhenkoordinate von ± 2 Pixeln im 2-Bildfall auf ± 0.3 Pixel im 8-Bildfall erzielt wird.

4. Menschen-Relevanz und das Straßenniveau

Gebäudemodelle aus Luftbildern liefern Ergebnisse, die am ehesten dem Paradigma der Vogelperspektive entsprechen. So erfährt der Mensch aber seine urbane Umgebung nicht, so kann er kaum sinnvoll damit interagieren. Stattdessen bewegt man sich auf dem Straßenniveau, geht

oder fährt durch Straßen und besucht das Innere von Gebäuden. Damit stellt sich die Frage, wie ein Modell der Welt mit ausreichendem Detail für eine menschlich relevante Darstellung entstehen kann. Dazu gibt es zwei Ansätze: einerseits die systematische und gelenkte Erfassung von Straßendaten, andererseits die Nutzung von Zufallsbildern, wie so von uns allen erzeugt und ins Internet gestellt werden, etwa auch in das System Flickr.com.

4.1 Systematische Datenerfassung mit Sensoren in Fahrzeugen

Anbieter globaler Internet-Suchdienste mit Ortsbezug wie Google ergänzen die städtischen Daten aus der Luft durch Daten aus einem Fahrzeug (Abbildung 5). Dabei werden Städte systematisch abgefahren, sodass von allen Straßenzügen Bilddaten entstehen. Die Anwendung dieser Daten beruht auf den GPS-gestützten Positionierungen der Kameras. Die Bilder werden als eigener Datensatz weitgehend unabhängig von den Luftbildern gezeigt. Es wird also nicht ein 3D-Modell der Straßenzüge entwickelt, die Straßenbilder werden auch nicht auf etwaige 3D Modelle aus der Luft aufgebracht. Stattdessen werden die Aufnahmen in 2D präsentiert. Um einen räumlichen Eindruck zu vermitteln, werden die Bilder in einer Hemisphäre an gewissen Standpunkten belichtet und im 2D Luftbildlaborat an diesen Standpunkten wahlweise

angezeigt. Abbildung 6 zeigt ein Beispiel. Der Betrachter kann die Blickrichtung vorgeben, der Standpunkt ist aber fest.



Abb. 5: Googles Autos mit Kameras auf dem Dach werden von Österreich nach Deutschland transportiert und zufällig auf der Autobahn gesichtet. Diese Autos sind Teil einer globalen Flotte, welche derzeit die urbanen Straßenschluchten der Welt abfährt.

Das Gegenstück wäre die Nutzung der Straßenbilder, um die Textur der Gebäudemodelle zu verbessern. Abbildung 7 zeigt ein Beispiel aus einem experimentellen Microsoft-Modell von Tampa (Florida). Man muss wohl damit rechnen, dass eine geometrische Verknüpfung der Bilder aus den diversen Quellen erst in weiterer Zukunft realisiert werden wird und bis dahin nur Zwischenlösungen nach dem Modell von Google angeboten werden.

4.2 Zufallsbilder

Es ist eine offensichtliche Idee, die sehr detaillierten Straßenbilder nicht nur „systematisch“ zu

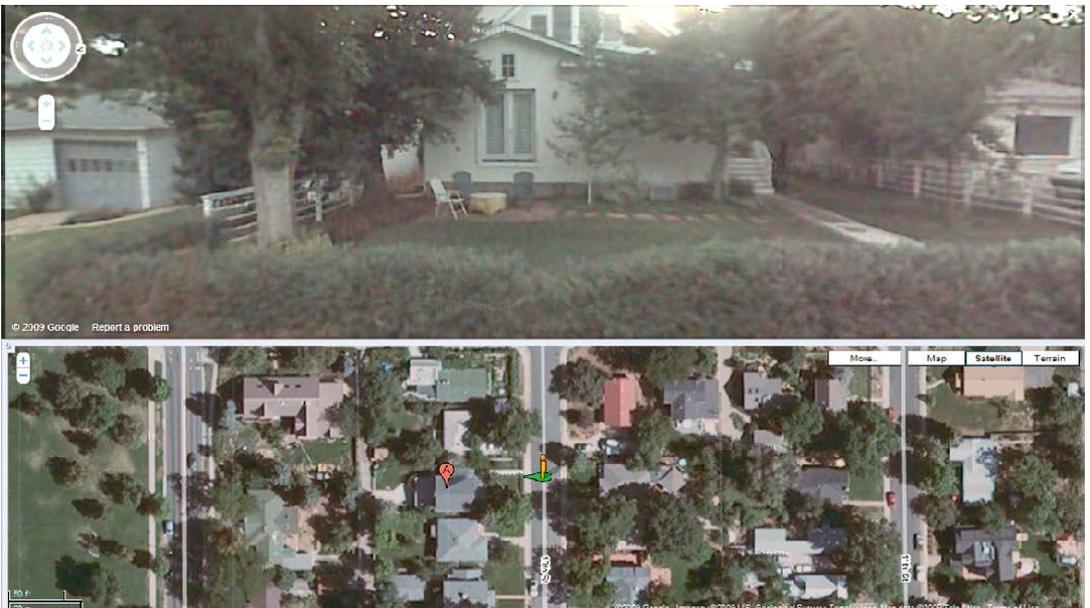


Abb. 6: Googles „Bubble-View“ aus einer Straßensicht-Belichtung. Ein Standpunkt auf der Straße aus dem fahrenden Auto liefert ein hemisphärische Bildgruppe, die in eine „Bubble“ (=Kugelform) umgerechnet wird. Der Betrachter wird an die Aufnahmepositionen gesetzt, kann seinen Blick aber in jede Richtung richten. Szene aus Boulder (USA).



Abb. 7: Microsoft experimentierte mit verschiedenen Darbietungsmodellen von Straßendaten. Dieses Beispiel ist unter www.bing.com/maps für Tampa zu finden. Die 2D-Straßenbilder wurden dort auf die aus Luftbildern gewonnenen 2D-Fassadenebenen aufprojiziert. Das mag aus einer gewissen Distanz einen visuell akzeptablen Eindruck vermitteln (links), aber bei näherem Hinsehen entdeckt man geometrische Inkonsistenzen, etwa wenn ein Straßenbild-Auto im Luftbild-Asphalt versinkt (rechts).

erfassen, sondern die Anwender einzuladen, aus ihrer Nachbarschaft im Sinne der „Neo-Geografie“ selber Bilder beizutragen. Es mag auch sein, dass diese Bilder aus einer Bilddatei wie Flickr entnommen werden.

Eine Begriffsdefinition des Neo-Geografen findet sich bei Goodchild (2008). Google unterstützt das Hinzufügen von Anwender-Fotos als geometrisch nicht zugeordnetes Attribut. Microsoft hat dazu hingegen eine besonders interessante und geometrisch ansprechende Lösung in Arbeit. Diese beruht auf dem System „Photosynth“ (Agüera y Arcas, 2007; Livelabs, 2008).

Abbildung 8 stellt einen Bildverband eines Anwenders dar, der Microsoft als ungeordneter Bildblock angeboten wird. Dort werden diese überlappenden Bilder trianguliert, auch wenn keine innere Orientierung bekannt ist, ja nicht einmal eine, sondern auch mehrere Kameras

diese Bilder erstellt haben können (Snavely u.a., 2008a und b). Abbildung 9 illustriert das Ergebnis einer geometrischen Zuordnung.

Eine Aktivierung dieses Zugangs zur routinemäßigen Nutzung innerhalb des Microsoftsystems BING Maps via www.bing.com/maps (früher Virtual Earth) steht an.

4.3 3D-visueller Eindruck ohne 3D-Modellierung

Die dritte Dimension ist für eine Interaktion mit der urbanen Umwelt unabdingbar. Kann die dritte Dimension durch eine Abfolge von 2D-Visualisierungen angenähert werden? Den Beginn machte Microsoft mit den Schrägaufnahmen (siehe Abbildung 10). Diese dienen dem Zweck, noch vor der späteren Modellierung von Gebäuden in realem 3D einen virtuellen 3D-Eindruck zu vermitteln.

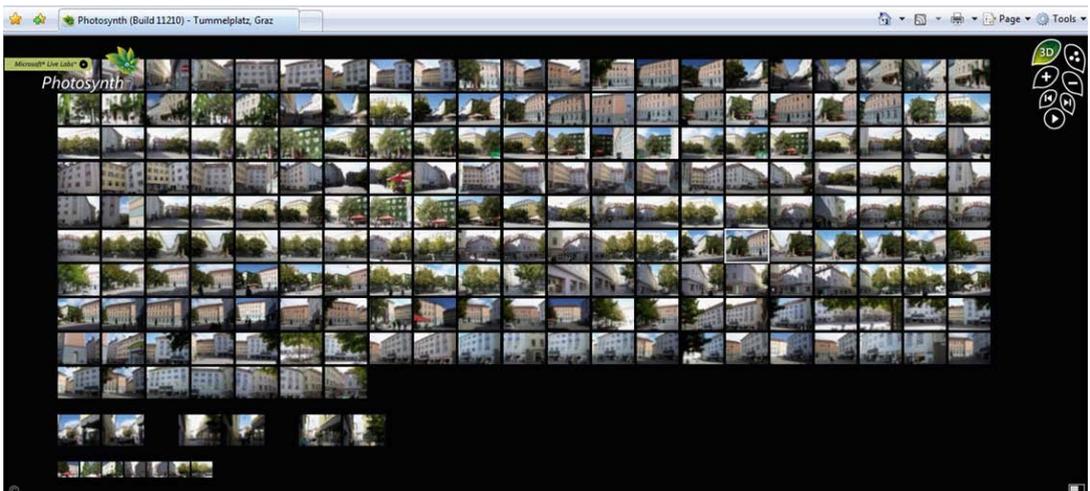


Abb. 8: Photosynth Eingabe – ein Verband überlappender Bilder, vielleicht aus verschiedenen Kameras, aber ohne Wissen um eine innere Orientierung, wird dem System eingegeben.



Abb. 9: Photosynth Ergebnis – Einander geometrisch zugeordnete 2D Bilder aus dem Bildverband der Abb. 8. Dies gestattet, das Objekt räumlich zu erkunden, ohne je ein 3D Raummodell erzeugt zu haben.



Abb. 10: Verwendung der Schrägaufnahme aus der Luft zur Vermittlung eines 3-dimensionalen Eindruckes aus einer Folge von vier Bildern, alle 2-dimensional (siehe auch Abb. 1, selbe Szene).



Abb. 11: www.herold.at bietet ein Navigationssystem via Straßenbilder aus Wien an, in welches Innenräume eingebettet sind. Damit wird Geschäften angeboten, sich im Internet mittels eines Panoramabildes in einer pseudo-dreidimensionalen Ansicht interaktiv darzustellen.

Im selben Licht ist die Darbietung der Straßenbilder durch Google in deren System „Streetview“ zu sehen. Es gibt dort kein 3D-Modell, sondern es werden die 2D Bilder selber angeboten, aber in einer Weise, welche entsprechend Abbildung 6 den Anwender im Glauben lässt, dass er sich in einem 3D-Gebilde befindet. Diese Art der Visualisierung vereinfacht das Internet-System, weil es keine 3D-Modelle zu erstellen, zu bearbeiten, laufend zu halten und darzubieten gibt. Dass dies den Charakter einer Zwischenlösung hat, ergibt sich aus der Überlegung, dass im Vollausbau eine freie Standpunktwahl erwünscht ist, daher die Fassaden und die Vegetation in 3D modelliert werden sollten.

4.4 Innenräume und Objekte

Das menschliche Interesse schließt Innenräume mit ein, etwa in Shopping Malls, Kirchen, Museen, Ämtern usw. Und auch die in gewissen Gebäuden enthaltenen Objekte, etwa Statuen, sind von Interesse. Gruber und Sammer (1995) haben dazu erste Ansätze entwickelt, ohne dabei eine Anwendung via Internet im Auge zu haben. Herold (2009) hingegen nutzt das Internet in einem Geschäftsmodell, welches einzelnen Betrieben gestattet, sich in einem Pseudo-3D-Format zu zeigen. Bilder der 360°-Umgebung werden aus einem festen Standpunkt aufgenommen und als 2D-Panorama angeboten (Abbildung 11).

5. DATENMENGEN IM EXABYTE-BEREICH

5.1 Ein 3D Weltmodell aus Luftbildern

In Tabelle 1 werden Annahmen und Berechnungen zum Datenumfang eines Weltmodells aus Luftbildern zusammengefasst. 9 Millionen Luftbilder würden die gesamte Landmasse der Erde im Umfang von 148 Millionen km² ohne Redundanz bedecken, wenn man eine geometrische Auflösung von 30 cm annimmt. Für die vollautomatische Interpretation und die Erweiterung zu einem 3D Modell sollte man eine 10-fache Redundanz einplanen. Dies führt zu 90 Millionen Luftbildern mit einem Volumen von etwa 50 Petabytes.

| | | |
|--|-------------|--------------------------------|
| Landmasse der Erde, km ² | 148,000,000 | Quadratkilometer |
| Fläche 1 Luftbild @ 30 cm Pixel, km ² | 16.83 | Berechnet aus 17K x 11K Pixeln |
| Luftbilder der Erde ohne Redundanz | 8,793,821 | Berechnet |
| Luftbilder der Erde, 10-fach Redundanz | 87,938,206 | Berechnet |
| Terabytes für die Landmasse der Erde | 47,506 | Berechnet |

Tabelle 1: Bedeckung der Landmasse der gesamten Erde mit Luftbildern (oder auch Satellitendaten) mit 30 cm Pixeln führt zu einem Datenbestand von 50 Petabytes, wenn man eine 10-fache Redundanz einplant.

Erweitert man diese Daten in den Städten der Industrienationen um eine höhere Auflösung von 10 cm in 3 Dimensionen, so erhält man nach Tabelle 2 weitere 9 Millionen Luftbilder und 5 Petabytes. Wollte man im Jahresverlauf die Jahreszeiten beachten, so könnte man an 4 Datensätze denken und das Gesamtvolumen an Luftbild-Daten wäre im Bereich von etwa 200 Petabytes.

Erstaunlich ist, dass eine Rechnerkonfiguration mit 5000 CPUs an einem Ort und bei einem Berechnungsaufwand von 1 h pro Bild diese Datenmenge in etwa 2 Jahren abarbeiten könnte.

5.2 Erweiterung des Weltmodells in den Straßen und manchen Innenräumen

Man kann davon ausgehen, dass eine Stadt mit einer Fläche von 167 km² eine Straßenlänge von vielleicht 260 km betreut, wenn ein enges Strassengitter im Abstand von etwa 100m besteht. Man wird diese Straßen abfahren und mit Bildern bedecken, welche Pixelgrößen von etwa 2cm aufweisen, damit alle Schilder gelesen werden können. Werden entlang aller Straßen im Abstand von 4m jeweils 6 Bilder mit je 1 Mbyte erstellt, so fügt dies dem Datenvolumen insgesamt zu:

- 1,2 Milliarden Bilder;
- 1,2 Exabytes.

Dazu sollte man noch die Innenräume einplanen. Diese werden wohl mit noch höherer geometrischer Auflösung erfasst, daher mit vielleicht 0,5 cm Pixeln. Nimmt man an, dass 10% aller erfassten Gebäude mit zumindest zwei Innenräumen dargestellt werden, und werden pro Innenraum je drei Bildsphären mit je 12 Bildern erfasst, so ergibt sich daraus wiederum ein Volumen von:

- 1,1 Milliarden Bildern;
- 1,1 Exabytes.

6. Von kolorierten Polyedern zu interpretierten Objektmodellen

Was wir heute am Internet in den Suchmaschinen angeboten erhalten, ist im wesentlichen für das Auge gedacht und stellt uninterpretierte Flächen mit aufgebracht Phototextur dar. Die wesent-

| Thema | Wert | Kommentar |
|---|---------------|--|
| Bevölkerung, global | 1,500,000,000 | In den reichen Industriestaaten |
| Städte | 3,000 | Annahme |
| Bewohner pro Stadt | 500,000 | Berechnet |
| Menschen pro Gebäude | 10 | Annahme |
| Gebäude, global | 150,000,000 | Berechnet |
| Gebäude je km ² | 300 | Annahme |
| Datenbudget, US\$ | 100,000,000 | Einfach definiert |
| Kosten pro Gebäude, US\$ | 0.67 | Berechnet |
| Fläche pro Stadt, km ² | 167 | Berechnet |
| Fläche auf 1 Luftbild @ 10 cm pixels, km ² | 1.87 | Format mit 17K × 11K Pixeln |
| Photos pro km ² @ 10 cm Pixels | 0.53 | Berechnet |
| Photos pro Stadt ohne Redundanz | 312 | Berechnet |
| Redundanz-Faktor | 10 | Annahme |
| Gesamtzahl der Luftbilder pro Stadt | 3,117 | Berechnet |
| Gesamtzahl aller Luftbilder | 9,350,000 | Berechnet |
| Mbytes pro Bild | 1,496 | 2 bytes per each of 4 colors |
| Mbytes/Bild @ Level 2 (komprimiert) | 540 | Pan @ volle Auflösung, Farbe reduziert |
| Terabytes für alle Städte | 5,051 | Berechnet |

Table 2: Datenmenge zur Erzeugung von urbanen 3D Modellen aus Luftbildern mit 10 cm Pixeln und 10-fach Redundanz. In den Industrienationen leben etwa 1,5 Milliarden Menschen in zirka 3000 Städten einer Größe von zumindest 100000 Einwohnern.

liche Interpretation in den Datenbeständen ist (1) die Auftrennung in die kahle Erde als DTM und die darauf befindlichen Gebäude-Blöcke als einfache Polyeder und (2) die Bäume mit einigen wenigen Kennzahlen wie etwa Durchmesser der Baumkrone und Baumart. Eine Suche dieser geometrischen Objekte ist nicht möglich, weil die einfachsten Fakten nicht bekannt sind. Wir wissen nicht, wo ein Gebäude endet und ein zweites beginnt, also sind Adressen nicht zuordenbar. Es ist unbekannt, wie viele Stockwerke ein Gebäude hat, wo Fenster sind, ob es einen Keller gibt, wo etwa Schornsteine und Dachflächenfenster für eine Evakuierung bestehen. Gibt es versiegelte Flächen? Eine Garage?

Damit wollen wir darauf hinweisen, dass eine „Suche“ des urbanen Datenbestandes nicht sinnvoll möglich ist, solange die Objekte nicht interpretiert sind, wie dies ja in traditionellen Landkarten und einem modernen 2D GIS sehr wohl der Fall ist. Wir sehen daher eine Notwendigkeit, an ein zukünftiges Weltmodell zu denken, in welchem die gesammelten Bilder zu interpretierten Modellen der Objekte umgewandelt wurden und die Visualisierung für das Auge computergrafisch aus den Objekten berechnet wird. Ansätze zu diesem interpretierten Modell (semantic model) werden an der Technischen Universität Graz entwickelt und bearbeitet (siehe etwa Kluckner u.a., 2009; Recky & Leberl, 2009).

Die wachsende Bedeutung der Augmented Reality und ihre Realisierung über Smart Phones begründet die Hoffnung auf eine wichtige Anwendung. Erste Ansätze dazu sind zum Beispiel im Projekt Vidente ebenfalls in Graz in Entwicklung (siehe Schall u.a., 2009 und Abbildung 2).

7. Ausblick

Dass die Suche am Internet einen dramatischen Bedarf an Geodaten begründen würde, ist seit etwa 2005 mit den ersten globalen Systemen der ortsbewussten Internetsuche zunehmend sichtbar. In Österreich begann zwar die Entwicklungsarbeit von 3D Stadtmodellen sehr früh, nämlich Mitte der 90-er-Jahre (Gruber, 1997). Jedoch wurde damals keineswegs an eine derartige Anwendung gedacht. Diese Entwicklung hat die meisten Geodaten-Experten überrascht.

In der kurzen Zeit seit 2005 konnte sich noch kein Standardvorgehen für die Verknüpfung der Internet-Suche mit einem 3D Weltmodell herausbilden. Wir erfahren ein Auf und Ab verschiedener Ansätze in 2 und 3 Dimensionen. Deutlich ist, dass die Landmasse des Globus mit 2D Orthophotos bedeckt wird, wobei die geometrische Auflösung in politisch schwierigeren Regionen durch Sensoren aus Satelliten bestimmt wird und in liberaleren Regionen mit höher auflösenden Luftbildern zu rechnen ist. Die Wunschaufklärung liegt bei 30 cm und höher. In urbanen Räumen

ist aber absehbar, dass nur ein 3D-Ansatz langfristigen Sinn macht, auch wenn zunächst die 3. Dimension durch eine Folge von 2D-Visualisierungen angenähert wird, wie wir dies heute mittels Schrägluftbildern vermittelt erhalten.

Die Vogelperspektive ist ein ungeeignetes Paradigma für die menschliche Nutzung eines Stadtmodells. Man spricht vom „human scale“ und meint damit die Erfahrung eines fahrenden und gehenden Benutzers des Internet (im Auto, am Smart Phone). Dies führt zu Bildern von Straßen und Innenräumen. Und diese Daten bringen den Bestand sehr schnell jenseits der Grenze zum Exabyte; daher können wir durchaus von einem *Exabyte-Weltmodell* sprechen.

Die Internet-inspirierte Modellierung der Welt unterscheidet sich zunächst von den regionalen Datenmodellen zur Erfüllung hoheitlicher Aufgaben. Denn zunächst ist bei ersterem die Qualitätskontrolle nur schlecht ausgebildet, die Datenbestände sind inhomogen und schlecht bis gar nicht integriert, die Genauigkeit und Vollständigkeit ist weitgehend unbestimmt. Es ist aber absehbar, dass diese Unterschiede langfristig verschwimmen könnten. Mit der Idee der Neo-Geografen und der Anwender-Beiträge zur Initialisierung und Aktualisierung höchstauflösender 3D Darstellungen urbaner Räume kann durchaus ein Datengebilde entstehen, welches nicht nur die Bedürfnisse der Internet-Nutzer, sondern auch alle wesentlichen hoheitlichen Anwendungen abdeckt.

Ganz besonders sehen wir diese Konvergenz anhand des Trends, statt der nur dem Auge dienenden Datenbestände auch die Suche selber auf die urbanen Geometrieobjekte auszubreiten, etwa im Sinne von „alle Garagen“ oder „Gebäude mit Dachflächenfenstern“. Dann kommt es zu einem Weltmodell mit interpretierten Details, und dies erfordert eine hohe geometrische Genauigkeit zur sinnvollen Verknüpfung von Bildern und Sensordaten unterschiedlicher Provenienz. Und für die sinnvolle Suche besteht die Notwendigkeit zur Vollständigkeit und der damit verbundenen Verifizierung dieser Vollständigkeit und Qualität.

Literaturverzeichnis

Agüera y Arcas B. (2007) http://www.ted.com/talks/blaise_aguera_y_arcas_demos_photosynth.html

BEV (2009) <http://www.bev.gv.at/portal/page>

Ernst J. (2007) *E- Geodata Austria – the web service of the BEV*. Seminar „Cadaster on the Internet“ November 27th, Lisbon. Available from http://www.euro-socialfiscal.org/uploads/documentos/20071204_171212_Austrian_Web_services.pps

Etak (2009) <http://en.wikipedia.org/wiki/Etak>

Gartner G., K. Rehr Eds. (2008) *Location Based Services and TeleCartography II. From Sensor Fusion to Context Models*. 5th International Conference on Location Based Services and TeleCartography, 2008, Salzburg. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography; 2009, XXIX, 456 p. ISBN: 978-3-540-87392-1

Goodchild M. (2008) Assertion and authority: the science of user-generated geographic content. *Proceedings of the Colloquium for Andrew U. Frank's 60th Birthday*. GeInfo 39. Department of Geoinformation and Cartography, Vienna University of Technology.

Gruber M. and R. Ladstätter (2006): Geometric issues of the digital large format aerial camera UltraCamD. International Calibration and Orientation Workshop EuroCOW 2006, Proceedings, 25-27 Jan. 2006, Castelfedels, Spain.

Gruber M., P. Sammer (1995) Modeling the Great Hall of the Austrian National Library, International Journal of Geomatics 9/95, Lemmer 1995.

Gruber M.(1997) „Ein System zur umfassenden Erstellung und Nutzung dreidimensionaler Stadtmodelle“, Dissertation, Graz University of Technology, 1997.

Hartley R, A. Zissermann (2003) *Multiple View Geometry for Computer Vision*. Cambridge University Press, 2nd edition.

Herold (2009) <http://strassentour.herold.at/> und <http://www.herold.at/routenplaner/>

Klicktel (2009) www.klicktel.de

Kluckner S., Georg Pacher, H. Bischof, F. Leberl (2009) Objekterkennung in Luftbildern mit Methoden der Computer Vision durch kombinierte Verwendung von Redundanz, Farb- und Höheninformation, in 15. Internationale Geodätische Woche Obergurgl 2009, Wichmann – Heidelberg.

Leberl F., R. Kalliany (1995) Satellite Remote Sensing in Austria and the European Center for Earth Observation. Vermessung und Geoinformation (vormals OeZ), 83.Jhg, VGI 1+2/95, pp.37-47.

Leberl F. (2007) Die automatische Photogrammetrie für das Microsoft Virtual Earth System. in 14. Internationale Geodätische Woche Obergurgl 2007, Wichmann – Heidelberg, S. 200 – 208.

Leberl F., M. Gruber (2009) „Ortsbewusstsein im Internet – von 2-dimensionalen Navigationshilfen zur 3-dimensionalen Mixed Reality“. Tagungsband der 15. Geod. Woche Obergurgl, Wichmann-Verlag, ISBN 978-3-87907-485-3. S. 67-79.

Leberl F. (2009) Human Habitat Data in 3d for the Internet. Springer Lecture Notes on Computer Science LNCS, Selected Papers from VisiGrapp-2009, Lisbon, Portugal.

LiveLabs (2008) Seadragon, Microsoft Live Labs, 2008. <http://livelabs.com/seadragon>.

MapQuest (2009) <http://www.mapquest.com>.

O'Reilly T., J. Batelle (2009) *Web Squared: Web 2.0 Five Years On*. O'Reilly Media Inc. Available from www.web2summit.com.

Recky M., F. Leberl (2009) *Semantic Segmentation of Street-Side Images*. In "Visual Learning", books@ocg.at, Volume 254; Proceedings of the Annual Meeting of the Austrian Assoc. for Pattern Recognition AAPR, P. Roth, T. Mautner, T. Pock (eds.), held in Stainz (Austria), May 14-15; pp. 273-282.

Schall G., D. Schmalstieg, F. Leberl (2009) Einsatz von mixed reality in der Mobilen Leitungsauskunft, in 15. Intern.

Geodätische Woche Obergurgl 2009, Wichmann – Heidelberg.

Snavely N., S. M. Seitz, and R. Szeliski. (2008a) Modeling the world from Internet photo collections. International Journal of Computer Vision, 80(2):189-210, November 2008.

Snavely N., R. Garg, S. Seitz, R. Szeliski (2008b) Finding Paths through the World's Photos. ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH 2008).

Tomlinson R.F. (1967) An introduction to the geo-information system of the Canada Land Inventory. ARDA, Canada Land Inventory, Department of Forestry and Rural Development, Ottawa.

Van Kranenburg R. (2008) The Internet-of-Things, A Critique of Ambient Technology and the All-Seeing Network of RFID. Network Netbooks. Institute of Network Cultures, Amsterdam. ISBN/EAN 978-90-78146-06-3, 61 Seiten

Vidente (2009) Vidente – Handheld Augmented Reality for Technical Infrastructure. <http://www.vidente.at/>

Anschrift der Autoren

o. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Franz Leberl, Institut für Maschinelles Sehen und Darstellen, Technische Universität Graz, Inffeldgasse 16, A-8010 Graz.
E-Mail: leberl@icg.tugraz.at;

Dr. Michael Gruber, Vexcel Imaging / Microsoft Photogrammetry, Anzengrubergergasse 8, A-8010 Graz.
E-Mail: michgrub@microsoft.com

Vortragender

Univ.-Prof. Dr. Franz Leberl

- 1967 Dipl.-Ing. Geodäsie und Photogrammetrie, TU Wien
- 1972 Rigorosum
- 1977 Habilitation für Photogrammetrie und Fernerkundung
- 1985-1992 Gründung von Vexcel Imaging, bis 1992 CEO, dann Vorstandsmitglied
- seit 1992 Professor für Informatik an der TU Graz
- 1992-1997 Vorstandsvorsitzender von Vexcel Imaging
- 1996-1998 CEO der Austrian Research Centers Seibersdorf
- 1998-1999 Vorstandsvorsitzender Vexcel Imaging
- 2003-2006 CEO Vexcel Imaging GmbH; Verkauf von Vexcel an Microsoft in 2006
- 2006-2007 Direktor der Microsoft Virtual Earth Business Unit
- 2008 Dekan der Fakultät für Informatik vgi

Medienpartner des OGT



The latest news in one location

DATA

Cartographic
Accuracy
Metadata
Remotely Sensed
Warehousing
Capture/Conversion
Legislation and Privacy Issues
Standards / Availability
Web & Wireless Content
Data Integration
Offshore Services

SOFTWARE

Surveying
Cartographic Production
Visualisation
WebMapping
Image Processing / Compression
Spatial Databases
Digital Photogrammetry
Cadastral/LIS
3-D Modelling
Geomarketing
Addressing and Geocoding

HARDWARE

Large Format Printers & Plotters
PC/Workstation Technology
Hand-Held Devices for Personal Nav.
Speech Recog. & Voice Output Tech.
Analogue & Digital Airborne Cameras
Laser Range Finders
GPS/GIS Data Capture
Photogrammetric Workstations
Bulk Data Storage
Wireless Technology
Surveying Instruments

APPLICATIONS

Environmental/Natural Resources
Health
Public Safety
Retail
Environmental
Utilities
Surveying
Location-Based Services
Transport and Logistics
Telecommunications
Geophysics

Annual Subscription Rates:

GEO:connexion: £45 or €85/US\$
GEO:connexionUK: £25 or €48/US\$
Combined Subscription: £50 or €95/US\$
Online Subscription: £20 or €38/US\$
Email: subscription@geoconnexion.com
Tel: +44 (0) 1223 279151

www.geoconnexion.com/subscription or email: subscription@geoconnexion.com

GEO:connexion