

# Gebäudeextraktion aus Luftgestützten und Terrestrischen Scandaten

Claus BRENNER und Christoph DOLD

## Zusammenfassung

Die Automatisierung der Erfassung von topographischen Objekten aus Luftbildern ist seit etwa zwei Jahrzehnten ein Forschungsthema. Mitte der neunziger Jahre kam mit luftgestütztem Laserscanning eine weitere bedeutende Datenquelle für die Extraktion von Objekten hinzu. Zunächst wurden dafür vollautomatische Systeme vorgeschlagen, die jedoch bis heute nicht die erforderliche Zuverlässigkeit erreicht haben. Deshalb streben etliche aktuelle Ansätze eine Teilautomatisierung an, welche die menschliche Interpretation mit einbezieht. Durch die Einführung digitaler Kameras und terrestrischer Laserscanner stehen heute zudem hochauflösende Bild- und Geometriedaten im Nahbereich zur Verfügung. Damit stellt sich die Aufgabe, luftgestützt erfasste und terrestrische Daten zusammenzuführen und Verfahren zur Modellierung von Objekten zu automatisieren. Dieser Artikel geht auf die zur Verfügung stehenden Datenquellen ein und zeigt Möglichkeiten zur Automatisierung auf.

## 1 Einführung

Unter dreidimensionalen Stadtmodellen versteht man im allgemeinen die Beschreibung von Geländeoberfläche, Straßen, Gebäuden und Vegetation innerhalb von bebautem Gebiet. Dabei wird heute vorwiegend von einer digitalen Beschreibung, d.h. „virtuellen“ Modellen ausgegangen, welche in vielfältiger Weise verarbeitet, in Geo-Informationssysteme eingespeist und durch Methoden der Computer Grafik visualisiert werden können.

Das Interesse an derartigen dreidimensionalen Stadtmodellen ist in den vergangenen Jahren deutlich gestiegen. Zu der klassischen Hauptanwendung im Bereich der Planung von Antennenstandorten für Mobilfunknetze haben sich inzwischen viele weitere gesellt. Zu nennen sind beispielsweise dreidimensionale Fahrzeugnavigationssysteme, virtuelle Tourismus-Informationssysteme und die Visualisierung für Stadtplanung, Bauprojektierung und Architekturwettbewerbe.

Die unterschiedlichen Anwendungen schlagen sich auch in sehr unterschiedlichen Anforderungen an die Modelle nieder. Während auf der einen Seite einfache „Bauklotzmodelle“ ausreichend sind, werden auf der anderen Seite Architekturmodelle gefordert, welche neben der Außenhülle auch das Innere eines Gebäudes modellieren. Auf Seite der Modelldefinition begegnet man diesem Umstand durch die Einführung verschiedener Detaillierungsstufen.

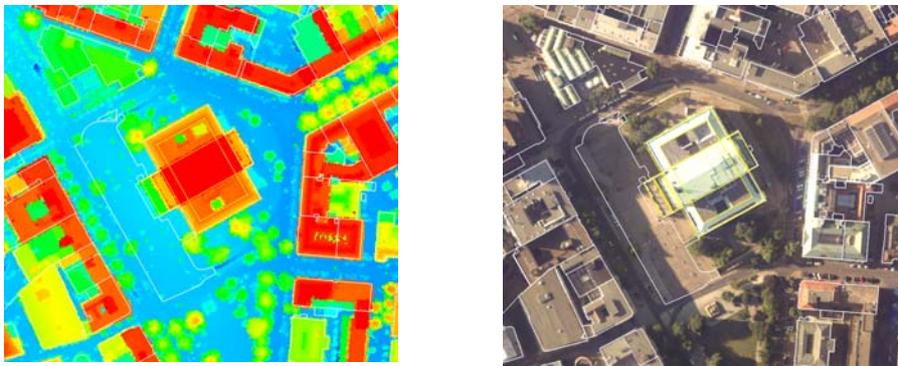
Durch terrestrische Laserscanner und hochauflösende Digitalkameras besteht die Möglichkeit, eine sehr dichte Erfassung von Objekten durchzuführen. Dadurch stehen i.d.R. genügend Informationen zur Verfügung, um detailliert modellierte Fassadenstrukturen zu ge-

winnen. Durch den Einsatz von Scannern auf Fahrzeugen lassen sich auch größere Gebiete erfassen. Die Problematik bei der Generierung von Stadtmodellen liegt jedoch nicht so sehr auf der Seite der Gewinnung von Rohdaten, sondern in der eigentlichen Modellierung der Objekte, welche heute einen sehr hohen manuellen Aufwand erfordert. Hier müssen in Zukunft verstärkt automatisierte Verfahren eingesetzt werden, die eine schnellere und damit wirtschaftlichere Erfassung ermöglichen.

## 2 Datenquellen

### 2.1 Luftgestütztes Laserscanning

In den 90er Jahren hat sich das luftgestützte Laserscanning bei der Erfassung von Höhenmodellen etabliert – inzwischen werden ganze Länder mit Laserscanning erfasst. Einige Systeme zeichnen Bilddaten synchron zu den Höhendaten auf (**Abb. 1**).



**Abb. 1:** Ausschnitt aus einem luftgestützten Laserscan (Hannover, Oper). Links: Höhendaten, Rasterweite 1 m, in Falschfarbendarstellung. Rechts: Synchron gewonnenes Orthobild, Rasterweite 0,5 m.

Die zu scannenden Gebiete werden üblicherweise streifenweise überflogen. Dabei wird die Geländeoberfläche in der Regel mit einem gepulsten Laser zeilenweise abgetastet. Der Laserstrahl wird quer zur Flugrichtung abgelenkt und die Laufzeit der einzelnen Pulse gemessen. Für die Ablenkung des Laserstrahls werden in der Praxis verschiedene Systeme verwendet (WEHR & LOHR 1999). Die Messpunktdichte am Boden ist von der Messrate des Systems, dem Öffnungswinkel des Scanners sowie der Flughöhe abhängig. Für die Orientierung des Sensors wird ein Navigationssystem bestehend aus GPS und inertialer Messeinheit benötigt. Bei der Auswertung werden die Bodenpunkte anhand der Entfernungs- und Navigationsdaten berechnet und die einzelnen Flugstreifen zusammengesetzt. Als Ergebnis erhält man dichte Punktwolken, welche auch in regelmäßigen Rastern interpoliert werden können. Die Lagegenauigkeit der Modelle ist im lokalen Koordinatensystem in der Regel besser als 30 cm, die Genauigkeit in der Höhe besser als 15 cm. Mit luftgestütztem Laserscanning können auch große Gebiete wirtschaftlich erfasst werden, allerdings entstehen dabei sehr große Datenmengen.

## 2.2 Terrestrisches Laserscanning

Die Erfassung von Gebäuden aus luftgestützten Daten erlaubt es zwar, große Flächen zu bearbeiten. Andererseits ist aufgrund der Auflösung der Daten eine Modellierung im Detail (Schornsteine, kleine Dachaufbauten, etc.) nicht möglich. Häufig ist dies jedoch auch nicht die Fragestellung, weil eine detaillierte Modellierung weniger für die Dächer sondern eher für die Fassadenstruktur von Interesse ist, welche aus luftgestützten Aufnahmen in der Regel ohnehin nicht erfasst werden kann.

Hier kommen zunehmend terrestrische Laserscannersysteme zum Einsatz. Wie im luftgestützten Fall bieten diese den Vorteil, dass die dreidimensionale Geometrie direkt erfasst wird. Anhand der sehr dichten Punktwolken lässt sich anschließend eine Oberflächenrekonstruktion bzw. Modellierung des Objekts in CAD-Systemen durchführen.

Terrestrisches Laserscanning ist gegenüber dem luftgestützten noch relativ jung. Jedoch ist die Zahl der Gerätehersteller größer als bei den luftgestützten Systemen und auch die Anschaffungs- und Betriebskosten sind im Vergleich geringer, was eine schnelle Verbreitung der Geräte begünstigt. Das Prinzip der Messung ist bei allen Herstellern ähnlich. In der Regel erfolgt wie bei den luftgestützten Systemen die Messung der Laufzeit eines Laserpulses. Terrestrische Laserscanner bleiben typischerweise während der Datenaufnahme an einem Standort stehen, wodurch ein teures Navigationssystem, wie es im luftgestützten Fall für die Bestimmung von Position und Lage des Sensors nötig ist, entfällt. Moderne Panoramascanner decken einen horizontalen Bereich von 360° ab. Die technischen Eigenschaften terrestrischer Laserscanner unterscheiden sich teilweise erheblich in der maximalen Messentfernung, der Messrate und in der Genauigkeit der Einzelmessung (13MAINZ 2004).

Heutige terrestrische Laserscannersysteme bieten häufig eine Integration mit terrestrisch gewonnenen Bildern an. Der dafür notwendige bildgebende Sensor ist entweder in den Scanner integriert oder wird außen aufgesetzt. Obwohl auch eine andere Lösung mit freihändig gewonnenen Bildern denkbar ist, bietet dieser Ansatz den Vorteil, dass die Orientierungen der Bilder sofort zur Verfügung stehen. Als unmittelbarer Nutzen ergibt sich daraus die „Einfärbung“ von Punktwolken, was nicht nur für die Visualisierung von Interesse ist, sondern auch einem Operateur bei einer manuellen Auswertung die Interpretation erleichtert.

Darüber hinaus steckt in dieser Lösung das Potential, Laserscanning mit photogrammetrischen Auswertemethoden zu verbinden. Dieser Ansatz ist sehr Erfolg versprechend, weil einerseits das Bildmaterial quasi „umsonst“ im Rahmen der Datenaufnahme erfasst werden kann, andererseits jedoch Bild- und Scandaten komplementärer Natur sind. So können Scandaten besonders zur Ableitung von Flächen (Kontinuitäten), Bilddaten für die genaue Messung von Kanten (Diskontinuitäten) verwendet werden.

Bei den terrestrisch aufgenommenen Daten können Dachflächen häufig aufgrund von Einschränkungen in der Standpunktwahl nur teilweise oder überhaupt nicht erfasst werden. Diese Daten sind jedoch in Luftscans enthalten und können bei Bedarf die fehlende Informationen liefern. **Abb. 2** zeigt luftgestützt und terrestrisch gewonnene Laserscandaten. In beiden Fällen wurde die enthaltene Farbinformation von den Scannersystemen miterfasst. Bei der Betrachtung wird deutlich, wie sich die beiden Datenquellen ergänzen.



**Abb. 2:** Gegenüberstellung von Laserscandaten aus einer Befliegung (links) sowie terrestrisch gewonnener Laserscandaten (rechts).

### 3 Automatisierung der Erfassung

#### 3.1 Erfassung von Scandaten aus mehreren Standpunkten

Üblicherweise werden heute die Messungen mehrerer Standpunkte über zusätzliche Zielmarken in ein gemeinsames Koordinatensystem gebracht. Dabei kann es sich um geometrische Objekte wie Kugeln, Zylinder oder Ebenen handeln, welche ggf. aus retroreflektierenden Materialien sind. Die Identifikation der Zielmarken in den Scandaten erfolgt in der Regel automatisch, mit der Möglichkeit der interaktiven Korrektur. Werden die Zielmarken zuvor entsprechend eingemessen, können sämtliche Messungen in ein übergeordnetes Koordinatensystem transformiert werden.

Daneben besteht die Möglichkeit, Scandaten verschiedener Standpunkte durch eine Minimierung der Oberflächenabstände zu registrieren. Dazu wird eine Anfangsorientierung interaktiv festgelegt, beispielsweise durch grobe Vorgabe von drei korrespondierenden Punkten. Diese wird anschließend iterativ verbessert. Vorausgesetzt ist hierbei eine ausreichende Überlappung der einzelnen Datensätze.

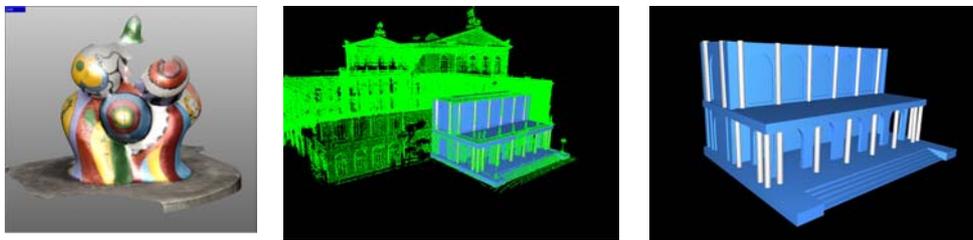
Die Registrierung von Scandaten ist somit ein relativ gut automatisierter Teil der Erfassung. Verbesserungspotential liegt in der vollautomatischen Registrierung, welche über eine Interpretation und Zuordnung von natürlichen Szenenobjekten erreicht werden kann. Dadurch könnte auf das relativ zeitaufwändige Ausbringen künstlicher Marken verzichtet werden. Besonders für die mobile Erfassung ganzer Straßenzüge bietet sich zudem die geometrische Stützung aus anderen Datenquellen an, etwa aus Luftbildern, luftgestützten Laserscandaten sowie digitalen Karten.

#### 3.2 Modellierung von Objekten

Die Weiterverarbeitung von Daten aus Laserscanning kann in zwei Bereiche eingeteilt werden: ikonische und symbolische Verarbeitung. Ersteres vermeidet eine Interpretation der Datensätze und führt von den einzelnen Punktwolken über Operationen wie Triangulierung, Filterung, Zusammenführung und Ausdünnung zu triangulierten Gesamtoberflächen. Diese Schritte sind zwar nichttrivial, werden jedoch seit langer Zeit in der Forschung und Entwicklung angegangen, so dass heute leistungsfähige Softwarepakete kommerziell zur

Verfügung stehen (z.B. INNOVMETRIC, 2004, RAINDROP GEOMAGIC, 2004). Sie eignen sich sehr gut für Freiformflächen (**Abb. 3**, links), eingeschränkt auch für prismatische Körper, führen jedoch nicht zu einer Repräsentation der erfassten Objekte in Form von Einzelteilen, wie sie bei der typischen Modellierung mittels CAD-Systemen entstehen.

Die symbolische Verarbeitung hat genau dies zum Ziel: Ein Objekt wird als Kombination verschiedener konstruktiver Elemente, wie Türen, Fenster, Säulen etc. modelliert (**Abb. 3**, rechts). Dadurch wird sichergestellt, dass die einzelnen Elemente identifizierbar sind, wodurch sie parametrisiert bzw. in der späteren Weiterverarbeitung modifiziert werden können. Verfahren und auch kommerzielle Produkte existieren in diesem Bereich bereits. Allerdings ist die durch Scandaten gestützte Modellierung von CAD-Objekten sehr zeitaufwändig. In der Regel müssen kleinere Punktmengen von einem Operateur ausgewählt werden, worauf anschließend einfache geometrische Körper wie Ebenen, Zylinder, etc. automatisch in die Daten eingepasst werden (FEDDEMA, JOHN T. AND LITTLE, CHARLES Q. 1997). Die so erstellten Objekte können verschoben, kopiert, verändert und miteinander verschnitten werden. Auf diese Weise entsteht aus zahlreichen Einzelobjekten ein Modell von der bearbeiteten Punktwolke.



**Abb. 3:** Links: ikonische Datenverarbeitung am Beispiel einer Skulptur („Nana“). Gezeigt ist die Anfelderung und Triangulierung von zwei Scans. Mitte und rechts: symbolische Modellierung am Beispiel der Oper.

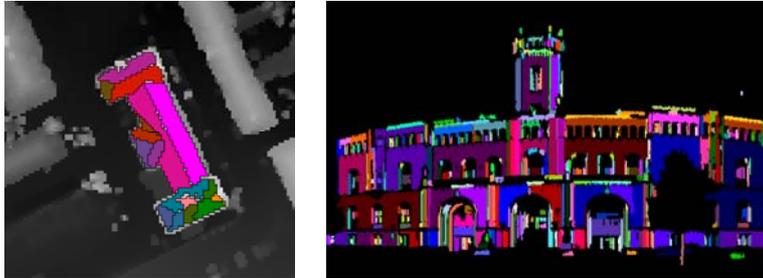
### 3.3 Automatisierte Extraktion von Objekten

Häufig wird bei der Extraktion von Objekten aus Daten eine hierarchische Vorgehensweise gewählt. Beispielsweise lässt sich die Oberfläche eines (Gebäude-) Objekts darstellen als eine Sammlung von Flächen, die begrenzt sind von Kanten, die wiederum begrenzt sind von ihren Anfangs- und Endpunkten. Daher kann man umgekehrt versuchen, in den Datensätzen zunächst die Primitive Punkt, Kante und Fläche automatisch zu identifizieren, um sie anschließend zur rekonstruierten Gesamtoberfläche des Objekts zu kombinieren.

#### 3.3.1 Extraktion von Flächen

Für Daten aus Laserscanning bietet sich typischerweise eine Suche nach Flächen an. **Abb. 4** zeigt das Ergebnis einer Ebenensegmentierung, welche Punkte nach ihrer Zugehörigkeit zu Ebenen in Regionen zusammenfasst. Dabei wird deutlich, dass die wesentlichen Flächen von dem Verfahren erkannt werden. Über den maximal erlaubten Abstand der Punkte von der geschätzten Ebene lässt sich die Fragmentierung der Regionen steuern. Sinnvoll ist zumindest ein Wert, welcher im Bereich des Rauschens des Scanners liegt. Größere Werte

können jedoch gezielt dazu eingesetzt werden, eine Generalisierung zu erreichen. Eine Flächensegmentierung muss sich selbstverständlich nicht auf Ebenen beschränken. Sie ist jedoch in diesem Fall besonders einfach und für Gebäudestrukturen meist anwendbar. Für die Erfassung von Fabrikanlagen (Rohrleitungen) ist dagegen eine Segmentierung in gekrümmte Flächen sinnvoll.



**Abb. 4:** Laserscan-Datensatz und Segmentierung in ebene Regionen. Links: Verfahren angewendet auf einen luftgestützten Laserscan. Rechts: Anwendung auf einen terrestrischen Scan einer Fassade (Hannover, Welfenschloss, siehe (ikg, 2004)).

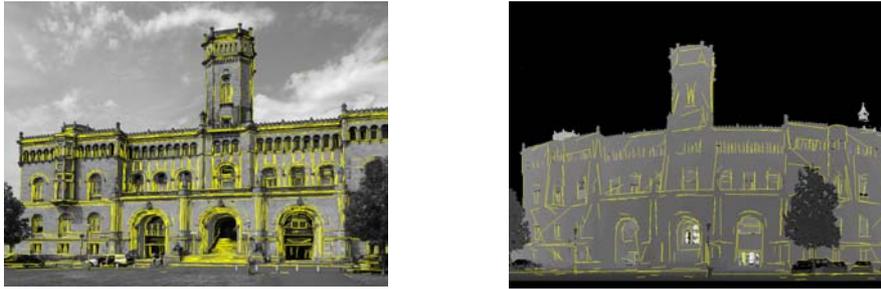
### 3.3.2 Extraktion von Kanten

Neben der Suche nach „Kontinuitäten“ (Regionen, welche ein Homogenitätskriterium erfüllen) kann auch die Extraktion von „Diskontinuitäten“ angestrebt werden. Für die Extraktion von Kanten wurde in der Vergangenheit in der digitalen Bildverarbeitung eine Fülle von Verfahren untersucht. Besonders interessant in diesem Zusammenhang ist das gemeinsame Vorliegen von radiometrischen und geometrischen Daten. Da typischerweise die Bilddaten in einer höheren Auflösung vorliegen, lassen sich noch relativ feine Strukturen extrahieren (**Abb. 5**, links). Zudem eröffnet sich die Möglichkeit, Kanten zu extrahieren, welche keinen geometrischen Unstetigkeiten entsprechen. Geometrische Bruchkanten lassen sich aber auch direkt aus Scandaten extrahieren (**Abb. 5**, rechts).

### 3.3.3 Extraktion höherwertiger Primitive

Extrahierte Flächen, Kanten und Punkte sind der erste Schritt von ikonischen Bild- und Scandaten hin zu einer interpretierten Szene. Die Kombination dieser „intermediate level“ Primitive zu höherwertigen Primitiven, wie beispielsweise Satteldächer, Balkone, Fenster, etc. ist typischerweise sehr schwierig.

Im luftgestützten Fall wurde die Extraktion von Dachlandschaften beispielsweise über eine regelbasierte Interpretation segmentierter Dachflächen untersucht. Die nach Anwendung der Regeln verbliebenen Flächen werden mittels Suchverfahren verschnitten, um die endgültige Dachtopologie zu erhalten (BRENNER, 2000).



**Abb. 5:** Automatisch extrahierte Kanten aus einem Bild (links) und einem terrestrischen Scan (rechts).

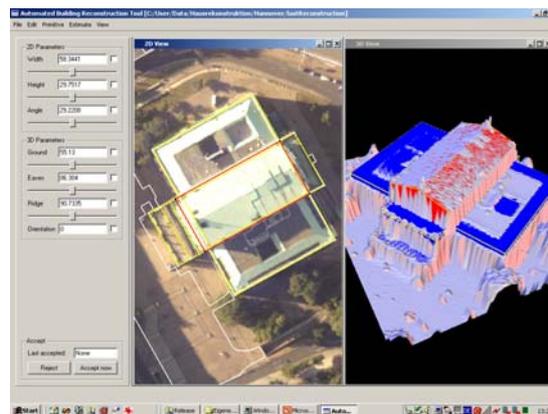
Des Weiteren ist die Rekonstruktion von Gebäuden auf der Basis von einfachen Grundprimitiven untersucht worden. Ebenfalls im luftgestützten Fall bieten sich hier einfache Primitive wie „Satteldach“, „Walmdach“, „Pulldach“, „Flachdach“ an, aus denen Gebäude zusammengesetzt werden können. Einfache Gebäude bestehen dabei direkt aus einem Primitiv, komplexere entstehen durch eine Kombination von Primitiven. In (BRENNER, 2000) wurde ein automatisches Verfahren vorgestellt, welches die Modellierung unter Zuhilfenahme von Grundrissen vornimmt. Gebäude moderater Komplexität werden dabei i.d.R. vollautomatisch behandelt. Die Nacharbeitung kann mittels eines semiautomatischen Tools vorgenommen werden (Abb. 6). Dabei können evtl. fehlerhaft rekonstruierte Primitive modifiziert werden. Das Tool bietet eine hohe Interaktivität und Übersichtlichkeit – Bild-, Grundriss-, Höhendaten und die Modelle werden gleichzeitig dargestellt und vorgenommene Änderungen am Modell werden in Echtzeit visualisiert.

In Zukunft wird die Übertragung dieser semiautomatischen Verfahren für terrestrische Scan- und Bilddaten von großer Bedeutung sein. Die bisher eingesetzten, einfachen Grundprimitive müssen dabei mit generellen CAD-Objekten erweitert werden.

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Modellierung von Gebäuden ist je nach gewünschtem Detaillierungsgrad mit unterschiedlichem Aufwand verbunden. In diesem Beitrag wurde die luftgestützte und terrestrische Erfassung aus Laserscandaten vorgestellt.

Für die detaillierte Erfassung von Gebäuden muss die Wirtschaftlichkeit heutiger Verfahren gesteigert werden. Hierzu dienen einerseits neue Erfassungssysteme, etwa Scansysteme auf Fahrzeugen, welche Punktwolken direkt während der Fahrt messen. Eine wesentliche Rolle werden jedoch „intelligente“ Auswerteverfahren spielen, die einen hohen Automatisierungsgrad bei der Modellierung erlauben. In diesem Zusammenhang führt die Kombination von Scan- und Bilddaten zu einer Steigerung der Zuverlässigkeit und trägt damit zur Automatisierung der Verfahren bei.



**Abb. 6:** Tool zur semiautomatischen Erfassung von Gebäuden aus luftgestützten Laserscandaten.

## Danksagung

Die vorgestellten Arbeiten wurden im Rahmen einer Nachwuchsgruppe durchgeführt, welche von der VolkswagenStiftung für die Dauer von fünf Jahren gefördert wird.

## Literatur

- Brenner, Claus (2000): Dreidimensionale Gebäuderekonstruktion aus digitalen Oberflächenmodellen und Grundrissen. Dissertation, Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Nr. 530, München.
- Feddema, John T. and Little, Charles Q. (1997): Rapid World Modeling: Fitting Range Data to Geometric Primitives. Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Albuquerque, New Mexico, pp. 2807-2812.
- i3mainz (2004): Object scanning in cultural heritage. <http://scanning.fh-mainz.de/scanninglist.php>. Letzter Zugriff 11.02.2004.
- ikg (2004): Datensatz „Welfenschloss“, frei verfügbar unter <http://www.ikg.uni-hannover.de>. Letzter Zugriff 13.02.2004.
- Innovmetric (2004): InnovMetric software, Inc. <http://www.innovmetric.com/>. Letzter Zugriff 13.02.2004.
- Raindrop Geomagic (2004): Raindrop Geomagic, Inc. <http://www.geomagic.com/>. Letzter Zugriff 13.02.2004.
- Wehr, Aloysius & Lohr, Uwe (1999): Airborne Laserscanning – an introduction and overview. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Issue 54; pp. 68-82.