

Laserscanning und Photogrammetrie im Dienste der Geoinformation

Karl KRAUS, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung (I.P.F.) der TU Wien

1 Vorbemerkungen

Die Erde als physikalisches und ökologisches Gesamtsystem tritt immer mehr in das Bewusstsein der Bevölkerung. Um ein System zu verstehen, braucht man vielfältige Informationen. Die Informationen über die Erde nennen wir Geoinformation. Sehr viele Disziplinen – auch das Laserscanning und die Photogrammetrie – liefern Geoinformation.

Im Folgenden werden das Laserscanning und die Photogrammetrie mit ihren Paradigmen charakterisiert und ihr Beitrag zur Geoinformation wird angesprochen. Laserscanning und Photogrammetrie bereichern die Datenbestände eines Geo-Informationssystems (GISes). Umgekehrt werden Laserscanning und Photogrammetrie von anderen GIS-Datenbeständen befruchtet. Auf diese gegenseitige Verflechtung der GIS-Datenbestände wird im Folgenden ebenfalls eingegangen.

2 Paradigmen des Laserscannings und der Photogrammetrie

Das Laserscanning hat ein neues Paradigma für die topographische Geländeaufnahme gebracht. Es ist ein konkurrenzierendes Paradigma zur traditionellen Stereophotogrammetrie. Der Autor hat darüber in mehreren Vorträgen berichtet und in Zeitschriften publiziert (KRAUS 2001, 2002, 2003). Die Abbildungen 1 und 2 zeigen die Gegenüberstellung der beiden Paradigmen. Dabei beschränken wir uns auf das flugzeuggetragene Laserscanning (ALS, Airborne Laserscanning).

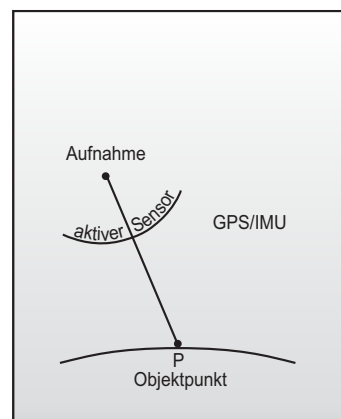
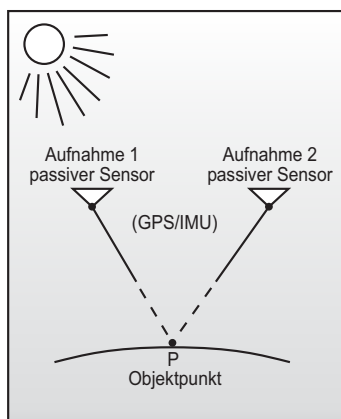


Abb. 1: Paradigma der Stereophotogrammetrie **Abb. 2:** Paradigma des flugzeuggetragenen Laserscannings

Das Wesentliche der Stereophotogrammetrie lässt sich auf die Abbildung 1 reduzieren: Für die geometrische Rekonstruktion der Objekte im dreidimensionalen Raum benötigt man mindestens zwei Aufnahmen. Eine Aufnahme definiert ein Bündel von Richtungen. Die Richtungen bzw. Strahlen, die das (natürliche) Licht der Sonne erzeugt, werden von passiven Sensoren registriert. Die Lage der Aufnahmeorte und die Stellung der Aufnahmen können aus Pass- und Verknüpfungspunkten **oder** aus GPS- und IMU(*inertial measurement unit*)-Aufzeichnungen ermittelt werden.

Das Wesentliche des Laserscannings lässt sich auf die Abbildung 2 reduzieren: Für die geometrische Rekonstruktion der Objekte im dreidimensionalen Raum genügt eine einzige Aufnahme. An die Stelle eines Bündels von Richtungen tritt ein Feld von Richtungen und Entfernungen, d.h. ein Vektorfeld. An die Stelle passiver Sensoren treten aktive Sensoren. GPS/IMU-Informationen werden essentiell.

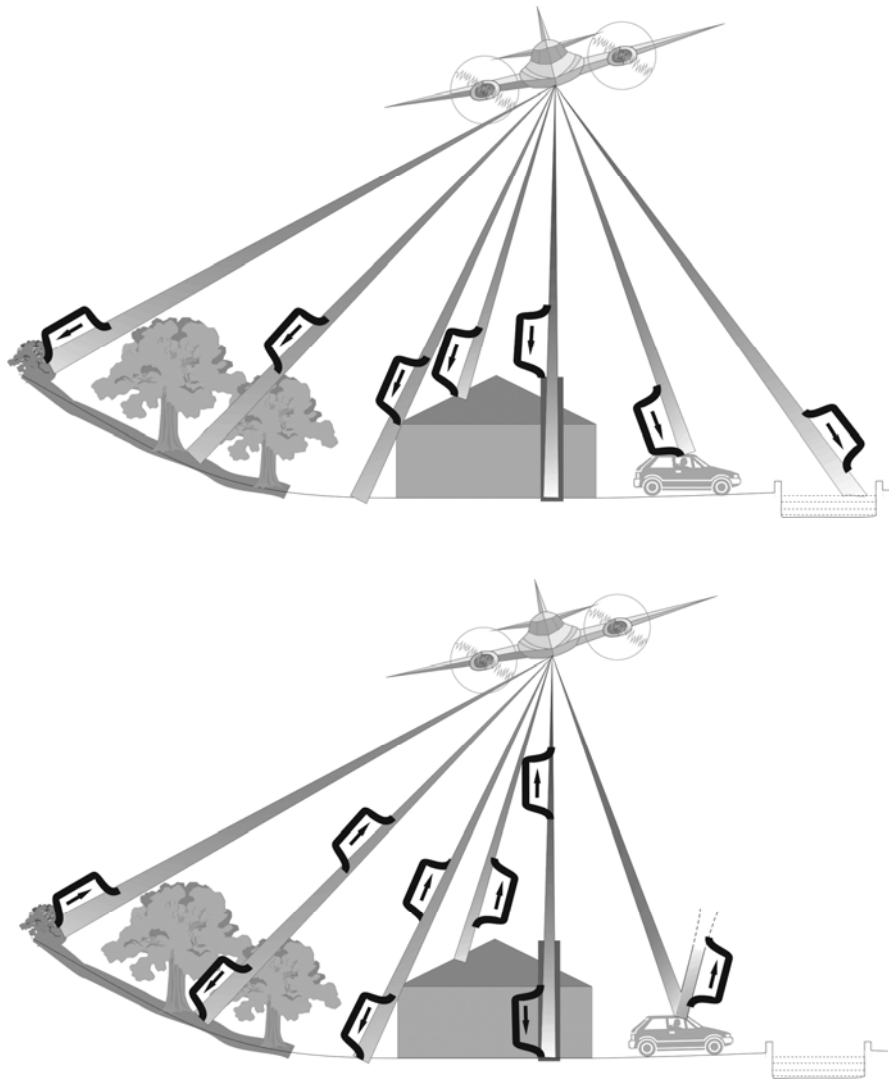


Abb. 3: Erster (oben) und letzter (unten) Impuls an unterschiedlichen Objekten

Beim Laserscanning erfolgt die Bestimmung der Entfernung zwischen Scanner und Objekt aus der Laufzeit von Impulsen. In der Abbildung drei sind oben die ersten Impulse und unten die letzten Impulse einiger Laserstrahlen skizziert. Sie sollen von rechts nach links kommentiert werden:

- Der Impuls trifft auf eine (Wasser-)Fläche, die sehr stark absorbiert, sodass nicht genügend Strahlungsenergie für eine Entfernungsmessung zurückgestreut wird.
- Der Impuls trifft auf eine spiegelnde (Auto-)Fläche. Der gerichtet reflektierte Strahl kann später eine andere Oberfläche, die diffus reflektiert, treffen und das Echo zum Laserscanner übermitteln (*long ranges*).
- Aus Zufall kann ein Laserstrahl teilweise an der Oberkante und teilweise am Boden eines Kamins reflektiert werden.
- Ein Gebäudedach reflektiert in der Regel diffus.
- An der Gebäudekante gibt es einen ersten und am darunter liegenden Boden einen letzten Impuls.
- Bei einem Baum kann es ähnlich sein, eventuell kommt der letzte Impuls aber nicht vom Boden sondern von einem Ast.
- Bei niedriger Vegetation (<1.5 m) bekommt man immer nur die Vegetationsoberfläche, auch wenn ein Teil des Laserstrahles bis zum Boden vordringt. Aufeinanderfolgende Impulse müssen nämlich einen gewissen Mindestabstand aufweisen.

Trotz dieser Zufälligkeiten bei der Anordnung der mit dem Laserscanner gemessenen Objektpunkte hat das Laserscanning interessante Vorteile, die im Folgenden – als Gegensatz zur Stereophotogrammetrie – angesprochen werden:

- Das Laserscanning ist der Photogrammetrie in bewaldeten und in bebauten Gebieten zur Ableitung von Geländemodellen überlegen.
- Die aktiven Sensoren machen das Laserscanning unabhängig vom (natürlichen) Sonnenlicht.

- Das Laserscanning benötigt keine Textur auf der Oberfläche (Gletscher, Dünen, trockene Ackerflächen, im Schatten liegende Waldflächen, ...).
- Die Genauigkeit hängt bei der Photogrammetrie entscheidend von der Flughöhe und beim Laserscanning entscheidend von der Punktdichte ab. Das ALS ist im allgemeinen genauer als die Photogrammetrie.
- Der Detaillierungsgrad bzw. die Auflösung sind bei der Photogrammetrie allerdings wesentlich besser als beim flugzeuggetragenen Laserscanning.

In ausführlicherer Form sind diese Gedanken unter anderem in den Lehrbüchern des Autors enthalten (KRAUS 2000, KRAUS 2004).

3 Bereicherung der GIS-Datenbestände mit Laserscanning und Photogrammetrie

Laserscanning und Photogrammetrie bringen die reale (dreidimensionale) Welt in die GISe. Sie liefern sehr wichtige Datenbestände, die häufig als Basisdatenbestand dienen.

3.1 Laserscanner-Datenbestände

Mit ausgefeilten Algorithmen gelingt es, aus den ALS-Punktwolken Objektmodelle abzuleiten. Einige Objektmodelle sollen kurz angesprochen werden:

3.1.1 Digitale Geländemodelle (DGMe)

Dabei geht es um das Problem, aus den ALS-Punktwolken die Punkte auf den Bäumen, Gebäuden, etc. zu eliminieren und mit den Bodenpunkten ein DGM abzuleiten. Dafür eignen sich besonders die sogenannten *Last-pulse*-Daten. Abb. 4 zeigt das erste Beispiel, das am I.P.F. mit der speziell adaptierten Interpolation nach kleinsten Quadraten (KRAUS 2000) bereits im Jahre 1996 bearbeitet wurde. Es ist ein Projekt der Wiener MA 41 im Wienerwald; links ist das Oberflächenmodell aus allen ALS-Punkten wiedergegeben, rechts das DGM.

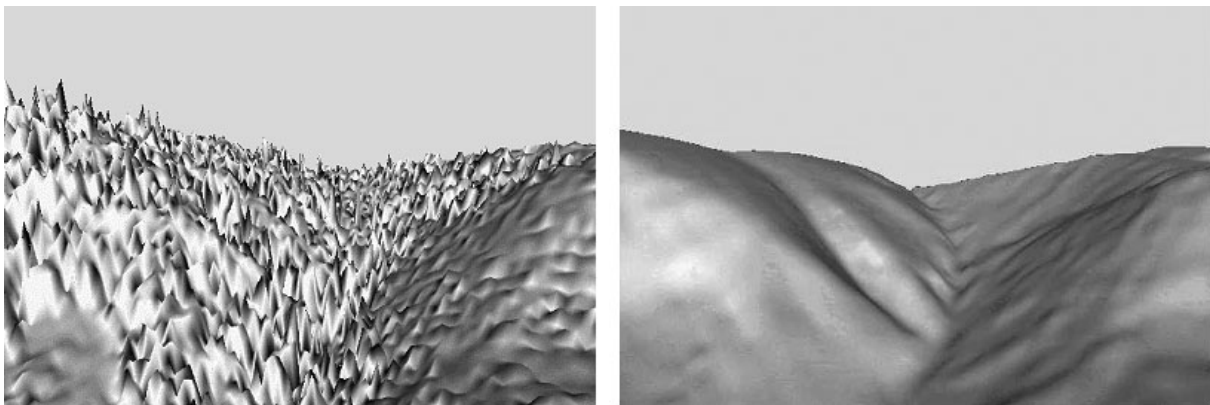


Abb. 4: Oberflächenmodell (links) und Geländemodell (rechts) aus ALS-Daten

Das I.P.F. und viele Ingenieurbüros bearbeiten gegenwärtig in Österreich solche Projekte: Oberösterreichische und Niederösterreichische Landesregierung in den Talbereichen (Pulkautal, Almtal, Traisental, Kamptal, ...) zur Ableitung von Hochwassergefährdungskarten. Die Landesregierung Vorarlberg als Basisdatenbestand für VO-GIS (Vorarlberger Geographisches Informationssystem). Von der Deutschen Bundesanstalt für Gewässerkunde wurden diese Methoden zum Beispiel entlang der Grenzoder eingesetzt (BROCKMANN/MANDBURGER 2001).

Erstaunlich ist die hohe Genauigkeit dieser DGMe. Mit terrestrisch eingemessenen Kontrollpunkten wird laufend die Genauigkeit überprüft. Als Faustformel kann zur Zeit folgende Höhengenaugigkeit angegeben werden:

$$\sigma_H [cm] = \pm \left(\frac{6}{\sqrt{n}} + 30 \tan \alpha \right) \quad (1)$$

$\tan \alpha$... Geländeneigung

n ... Punktdichte bezogen auf einen Quadratmeter

In sehr vielen Anwendungen (z.B. aus den DGM abgeleitete Isolinien oder Wasseranschlagslinien eines prognostizierten Hochwassers) ist aber nicht die Höhengenaugigkeit σ_H des DGMs sondern die Lagegenauigkeit σ_{HL} entscheidend. Sie ergibt sich aus der Formel 1 wie folgt:

$$\sigma_{HL}[cm] = \frac{\sigma_H}{\tan \alpha} = \pm \left(\frac{6}{\sqrt{n} \tan \alpha} + 30 \right) \quad (2)$$

Die Faustformeln (1) und (2) leisten gute Dienste für das Projektmanagement. Mit ihnen können die Genauigkeiten für das jeweilige Gesamtprojekt abgeschätzt werden. Insbesondere die im Abschnitt 2 erwähnten Zufälligkeiten bei der Anordnung der ALS-Punkte erfordern wesentlich detaillierte Qualitätsmerkmale für ALS-DGMe. Über den Stand der diesbezüglichen Forschung am I.P.F. berichtet die Veröffentlichung (KRAUS ET AL. 2004). Ein sehr aussagekräftiges Kriterium ist zum Beispiel die sogenannte Abstandskarte. Sie gibt für jeden interpolierten Gitterpunkt des DGMs den Abstand zum nächstgelegenen gemessenen Bodenpunkt an. Abb. 5 erläutert das Prinzip und Abb. 6 zeigt die Abstandskarte eines ALS-DGMs. Die stützpunktlosen Bereiche sind Wasserflächen, dichte Baumbestände und Gebäude.

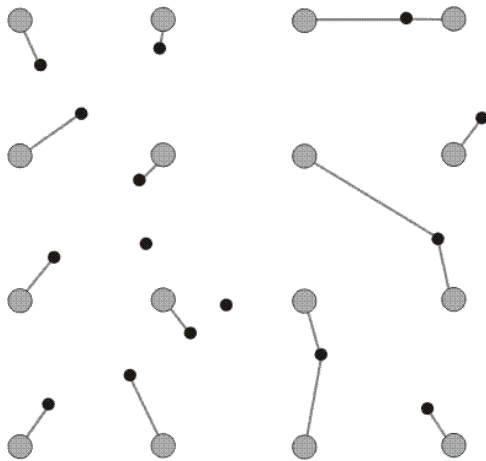


Abb. 5: Kürzeste Abstände der Gitterpunkte (grau) zum nächstgelegenen gemessenen Bodenpunkten (schwarz)



Abb. 6: Abstandskarte eines Ausschnittes des ALS-Projektes im Pulkautal

3.1.2 Digitale Gebäudemodelle

Zur Ableitung digitaler Gebäudemodelle subtrahiert man ein DGM von einem Oberflächenmodell, das aus den *First-pulse*-Daten aufgebaut ist. Dieses Differenzenmodell enthält die Gebäude, aber auch die Bäume, etc. Mit morphologischen Operatoren gelingt weitgehend eine Extraktion der Gebäude (ROTTENSTEINER 2003). Abb. 7 zeigt eines der ersten nach dieser Methode bearbeiteten Beispiele. Diese Gebäude werden als „Rauhigkeit“ für das Modell des Hochwasserabflusses verwendet.

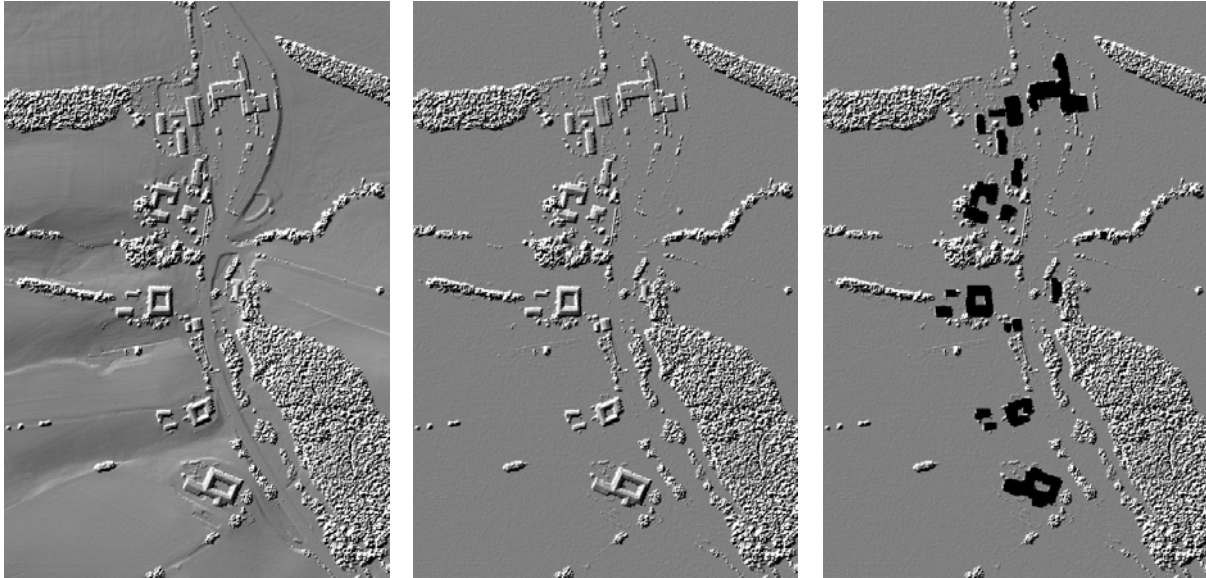


Abb.7:

3.2 Photogrammetrische Datenbestände

Die Stärken der passiven photogrammetrischen Sensoren sind ihre hohe Auflösung und die Registrierung der an der Erdoberfläche reflektierten Sonnenstrahlen in mehreren Spektralbereichen. Nach der Georeferenzierung dieser Daten liegen digitale (Farb-)Orthophotos vor. Diese Datensätze sind inzwischen weit verbreitet und sehr populär. Die Forschung und Entwicklung ist gegenwärtig auf die Beseitigung der „umfallenden“ Gebäude in den Orthophotos und auf die Einziehung mehrerer Datenebenen (Brückenoberfläche eine Datenebene und darunter liegende Topographie eine andere Datenebene) ausgerichtet.

Die photogrammetrische Datenerfassung für DGMe ist im offenen Gelände heutzutage im gleichen Maße automatisiert wie das ALS. Doch in bebauten und bewaldeten Gebieten gibt es bei der Photogrammetrie Probleme (BAUERHANSL ET AL. 2004) im Gegensatz zu ALS.

Die digitalen Korrelationsmethoden der Photogrammetrie als auch das Laserscanning liefern auch Punktwolken ohne Strukturelemente. Beim ALS stehen halbautomatische Methoden der Geländekantenextraktionen aus den ALS-Punktwolken vor der Einführung in die Praxis (BRIESE). Bei der Photogrammetrie werden die Strukturlinien im optischen Stereomodell vom Operateur nach wie vor interpretiert und digitalisiert. Die Einbeziehung des Menschen für diese Aufgabe liefert aus geomorphologischer Sicht sehr hochwertige DGMe. Das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) hat in den letzten Jahren auf diese Weise eine neue Generation des DGMe von Österreich erstellt (FRANZEN/MANDLBURGER 2003); in anderen Staaten gibt es vergleichbare Aktivitäten.

Bei der dreidimensionalen photogrammetrischen Gebäudeauswertung setzt sich allmählich die sogenannte topologiegestützte Auswertestrategie durch. Dabei wählt der Operateur das jeweilige Standard (Gebäude-)Modell, das als Wissensbasis im computergestützten Auswertesystem bereitgehalten wird, aus und misst stereoskopisch einige Eckpunkte im topologisch vorgegebenen Standardmodell. Bei sehr hoch entwickelten Systemen führt der Operateur nur eine grobe Messung aus; die Feinmessung wird vom Korrelationsalgorithmus automatisch ausgeführt (z.B. Kraus 2004).

4 Verflechtung des Laserscannings und der Photogrammetrie mit anderen GIS-Datenbeständen

In Geo-Informationssystemen liegen häufig umfangreiche Datenbestände, die nicht von Laserscanning und Photogrammetrie stammen, vor. Diese anderen GIS-Datenbestände sind eine gewaltige Wissensbasis, die das Laserscanning und die Photogrammetrie nutzen können. Im Folgenden werden exemplarisch nur wenige Beispiele angesprochen.

Bevor darauf eingegangen wird, ist auf eine wichtige Voraussetzung bei der Kombination von Daten verschiedenen Ursprungs hinzuweisen. Die Qualität der Georeferenzierung der Datenbestände ist gemeint. Es ist ein im

Hintergrund ablaufender Prozessierungsschritt, der nicht sehr beliebt ist und der bei schlechter Qualität verheerende „Nachwehen“ verursachen kann.

In der Photogrammetrie besorgt die Georeferenzierung die sogenannte Aerotriangulation, die sich auf terrestrisch eingemessene Passpunkte und/oder GPS- und IMU-Registrierungen stützt (Abschnitt 2). Bei sorgfältiger Anwendung der Grundsätze der Aerotriangulation wird eine Qualität der Georeferenzierung erreicht, die aus der GIS-Sicht keine Wünsche offen lässt. Die bewährten Georeferenzierungsmethoden der Photogrammetrie übertragen wir am I.P.F. (KAGER 2004) und andere Gruppen auf das Laserscanning. Systemhersteller, Flugfirmen und ALS-Datenverarbeiter müssen für hochwertige Georeferenzierung noch mehrere methodische und gerätetechnische Schritte gemeinsam setzen; sie sind aber in Reichweite.

An die GIS-Gruppe möchte ich appellieren, dass sie ihre Daten ebenfalls auf hohem Niveau georeferenzieren bevor sie mit photogrammetrischen und ALS-Datenbeständen kombiniert werden. Für manche Aufgabenstellungen reicht eine sehr gute relative Georeferenzierung der heterogenen Datenbestände aus. Zum Beispiel für Klassifizierungen des Bildinhaltes von Orthophotos kann das DGM gute Dienste leisten; es muss aber spannungsfrei mit dem Orthophoto zusammenpassen. Für eine solche relative Georeferenzierung gibt es mehrere Vorschläge. Vor Kurzem haben [wir](#) darüber publiziert.

Als nächstes Beispiel soll auf die Einbeziehung der zweidimensionalen Gebäudegrundrisse, die als GIS-Datenbestände von Kommunen häufig vorliegen, zur dreidimensionalen Gebäudeauswertung eingegangen werden. Abbildung 8 zeigt eine solche dreidimensionale Gebäudeauswertung mit ALS-Daten auf der Grundlage eines zweidimensionalen Gebäudegrundrisses. Die zu den jeweiligen Dachebenen gruppierten ALS-Punkte sind mit gleichem Grauton versehen, aber von Dachebene zu Dachebene mit verschiedenen Grautönen. Die ALS-Punkte, die ober- oder unterhalb der Dachebenen liegen, sind sehr hell wiedergegeben. Das Verfahren ist in der Veröffentlichung (JANSA/STANEK 2003) näher beschrieben. Es liefert CAD-Modelle der Gebäude mit einer Genauigkeit von einigen Zentimetern. Die Genauigkeit und Zuverlässigkeit fällt im Rahmen der Modellierung und Analyse der Daten für jedes Gebäude – ja sogar für jede einzelne Dachfläche – an. Entlang der Traufenlinien kommen Daten verschiedenen Ursprungs zusammen:

- Der zweidimensionale Gebäudegrundriss, der vertikal „hochgezogen“ wird, stammt eventuell aus einer terrestrischen Vermessung, die mit dem Festpunktfeld der Stadtvermessung georeferenziert wurde.
- Die ALS-Punkte aus einer Laserscannerbefliegung, die in einem europäischen terrestrischen Referenzsystem (z.B. ETRS89) georeferenziert sind.
- Die Netzspannungen des Festpunktfeldes der Stadtvermessung und etwaige Unzulänglichkeiten der Georeferenzierung der ALS-Daten stoßen bei den modellierten Gebäuden in unmittelbarer Nachbarschaft zusammen. Diese Probleme können nur mit sehr sorgfältigen Georeferenzierungen der Laserscannerflugmissionen und mit der Homogenisierung des Festpunktfeldes (z.B. JANSA/AUGUSTIN 2004) gelöst werden.

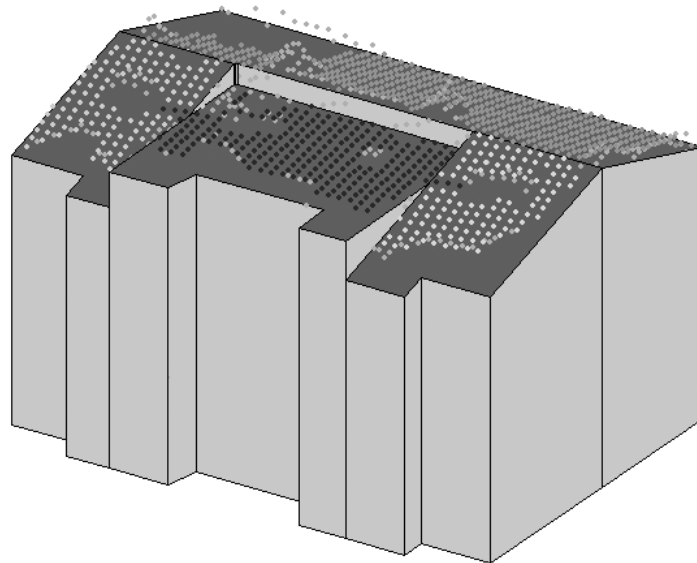


Abb. 8: CAD-Modell eines Gebäudes aus ALS-Daten und zweidimensionalem Gebäudegrundriss

5 Ausblick

Flugzeuggetragenes Laserscanning und Photogrammetrie stellen Verfahren bereit, die die GIS-Datenbestände bereichern können. Die Verfahren in beiden Disziplinen sind mehr oder weniger stark ausgereift. Die gegenwärtigen Herausforderungen für beide Disziplinen sind eine noch bessere Qualität und eine noch stärkere Automatisierung (Kostendruck!).

Die Herausforderungen für die Forschung und Entwicklung sind eine Zusammenschau aller verfügbaren Daten in komplexen Auswerte- und Analyseverfahren. Technische Fortschritte im Sensorbereich sind bei der Photogrammetrie die großformatigen digitalen Kameras (z.B. LEBERL) und beim flugzeuggetragenen Laserscanning die Fullwave-Laserscanner (WAGNER ET AL. 2003), die nicht nur den ersten und letzten Impuls sondern das gesamte reflektierte Signal aufzeichnen.

Die vierte Dimension im GIS, also die zeitliche Veränderung der Objekte und Phänomene, ist eine neue und große Herausforderung. Die vierdimensionalen Datenbestände sind für das Geomonitoring besonders gefragt. Die Photogrammetrie mit ihren seit den 50er Jahren anfallenden Luftaufnahmen haben ein großes Potential für ein Geomonitoring verhältnismäßig weit zurück in die Vergangenheit. Das flugzeuggetragene Laserscanning erlaubt nur ein Geomonitoring zurück in die letzten 10 Jahre. Für das Verstehen der Dynamik der physikalischen und ökologischen Prozesse sind Geodaten über kurze und große Zeitspannen erforderlich. Aus der Vergangenheit können wir oft für die Zukunft lernen.

6 Literatur

BAUERHANSL, C., WÜRLÄNDER, R., RIEGER, W. (2004): Verbesserte Ableitung von Geländemodellen aus der digitalen Bildzuordnung. Vorträge 24. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF – „Instrumentarien zur nachhaltigen Entwicklung von Landschaften“, E. Seyfert, Band 13, S. 41-29.

BROCKMANN, H. , MANDLBURGER, G. (2001): Aufbau eines Digitalen Geländemodells vom Wasserlauf der Grenz-oder. Publikation der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 10, S. 165-172.

FRANZEN, M., MANDLBURGER, G. (2003): Die neue Generation des digitalen Geländemodells von Österreich. VGI, 91. Jahrgang, Heft 3/2003, S. 154-162.

HÖHLE,

JANSA, J., STANEK, H. (2003): Ableitung von Stadtmodellen aus Laser-Scanner-Daten, Grundrissplänen und photographischen Aufnahmen. VGI, 91. Jahrgang, Heft 4/2003, S. 262-270.

JANSA, J., AUGUSTIN, L. (2004): Ein Vorschlag für die Homogenisierung des Österreichischen Festpunktnetzes. VGI, 92. Jahrgang, Heft 2/2004, S. 59-67.

KAGER, H. (2004): Discrepancies Between Overlapping Laser Scanning Strips- Simultaneous Fitting of Aerial Laser Scanner Strips. Proceedings of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, XXth Congress, Istanbul, Vol. XXXV, Part B/1, S. 555-560.

KRAUS, K. (2001, 2002, 2003): Laser-Scanning – ein Pradigmawechsel in der Photogrammetrie. Publikation der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 10, S. 13 - 22, Mensuration, Photogrammétrie, Génie rural, Heft 10, S. 620 - 624, Bulletin, Heft 9, S. 19-22.

KRAUS, K. (2000): Photogrammetrie, Band 3 (Topographische Informationssysteme). Dümmler Verlag, Bonn.

KRAUS, K., ATTWENGER, M., BRIESE, C., MANDLBURGER, G. (2004): Qualitätsmaße für digitale Geländemodelle am Beispiel eines Photogrammetrie- und eines Laserscannerprojektes. Vorträge 24. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF – „Instrumentarien zur nachhaltigen Entwicklung von Landschaften“, E. Seyfert, Band 13, S. 175-185.

KRAUS, K. (2004): Photogrammetrie, Band 1 (Geometrische Informationen aus Photographien und Laserscanneraufnahmen). Walter de Gruyter Verlag, Berlin.

LEBERL

ROTTENSTEINER, F. (2003): Automatic Generation of High-quality Building Models from Lidar Data. IEEE Journal Computer Graphics and Applications, Vol. 23/6, S. 42-50.

WAGNER, W., ULLRICH, A., MELZER, T., BRIESE, C., KRAUS, K. (2004): From Single-pulse to Full-waveform Airborne Laser Scanners: Potential and Practical Challenges. Proceedings of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, XXth Congress, Istanbul, Vol. XXXV, Part B/3, S. 201-206.