

Das unterschätzte Potenzial photogrammetrischer Punktwolken – exemplarische Anwendungen in Kombination mit LiDAR-Daten

Hansjörg RAGG, Christoph KLUG, Hannes KLEINDIENST,
Rudolf SAILER und Hans STÖTTER

Zusammenfassung

Die automatische Generierung von 3D-Oberflächenmodellen aus sich überlappenden Bildpaaren ist durch die Entwicklung neuer Algorithmen für viele Anwendungen und Fragestellungen eine bislang unterschätzte Ergänzung zur Airborne Laser Scanning (ALS)-Aufnahmetechnik. Die wachsende Vielfalt und die immer besser werdenden Auflösungen der optischen Aufnahmesysteme ermöglichen mithilfe photogrammetrischer Verfahren eine pixelbasierte Ableitung von Höhenpunkten, welche beispielsweise bei stark überlappenden UltraCAM-Bildern, Dichten von bis zu 30 Punkten pro Quadratmeter erzeugen.

Die Anwendungsmöglichkeiten dieser photogrammetrisch erzeugten Punktwolken sind vielfältig und derzeit sicher noch nicht ausgeschöpft. Die resultierenden Oberflächenmodelle können neben der klassischen Anwendung für die Erstellung von Orthophotos auch für Veränderungsanalysen (Change Detection) oder als Grundlage für numerische Simulationsmodelle verwendet werden. Die vorliegende Arbeit zeigt die Anwendungsmöglichkeiten dieser Technologie bei multitemporalen Auswertungen im Bereich der historischen Luftbildauswertung, Forstwirtschaft und Siedlungsentwicklung auf.

1 Einleitung

Der Bedarf an Digitalen Oberflächenmodellen (DOM) und deren Einsatzmöglichkeiten ist mannigfaltig. Neben der photogrammetrischen Anwendung bei der Orthorektifizierung werden diese vermehrt auch zur Höhenbestimmung und bei Höhenänderungsanalysen eingesetzt. Die Zielauflösung und daraus abgeleitet die Detailgenauigkeit der Geländemodelle gilt als entscheidendes Kriterium bei der Auswahl der geeignetsten Aufnahme- bzw. Prozessierungstechnologie. Die Ableitung von DOMs aus LiDAR-Daten und deren Nutzung ist in vielen Bereichen bereits etabliert (vgl. SHAN & TOTH 2009). Die Photogrammetrie leistet aufgrund dieser neuen Möglichkeiten bei der Oberflächenextraktion einen wertvollen Beitrag zur Erfassung, dem Monitoring und der Quantifizierung von Landschaftsveränderungen.

Die einfache Verfügbarkeit von hochaufgelöste Fernerkundungsdaten erlaubt ein zeitnahes Ableiten von Oberflächenmodellen aus Stereobildaufnahmen. Je nach gewünschtem Detaillierungsgrad können photogrammetrisch abgeleitete Oberflächenmodelle aus Satellitenbildern oder Luftbildern generiert werden. Wie in Abbildung 1 dargestellt, erfolgt die Bereitstellung als extrahierte Höhepunkte in Form einer dreidimensionalen Punktwolke, TIN und/oder Rasterbild.

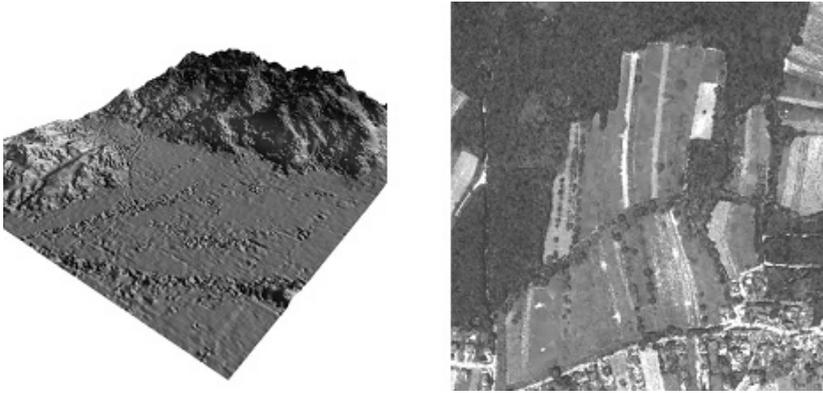


Abb. 1: Links: Hillshade eines 15-m-Oberflächenmodells, generiert aus einem panchromatischen SPOT-Stereobildpaar (Datengrundlage: ERDAS LPS eATE Data). Rechts: 3D-Punktwolke als TIN, resultierend aus 20 cm UltraCAM Bildern (Datengrundlage: BUNDESAMT FÜR EICH- UND VERMESSUNGSWESEN 2010)

Im Vergleich zur LiDAR-Punktwolke besitzt die photogrammetrisch abgeleitete Punktwolke keine Informationen zu Mehrfachreflexionen oder Intensität des rückgestrahlten Signals. Vielmehr wird die sichtbare Oberfläche generiert. Das optische Aufnahme- und Matchingverfahren neigt, im Vergleich zur ALS-Punktwolke vor allem in Bildbereichen mit geringem Kontrast, zu Lücken. Im Detail sind dies homogene Flächen, welche einen geringen spektralen Unterschied zu den Nachbarpixeln aufweisen, wie beispielsweise in Schattenbereichen oder bei Fahrbahnoberflächen. Sind wiederkehrende Strukturen, wie Ackerfurchen oder Dachziegel vorhanden, führen diese optischen Eigenschaften, aufgrund von Zuordnungsschwierigkeiten der Algorithmen, ebenfalls zu Lücken im resultierenden Oberflächenmodell. Abbildung 2 veranschaulicht die Punkteverteilungen über verschiedenen Erdoberflächen, darunter Wald, Gebäude und Straßen.

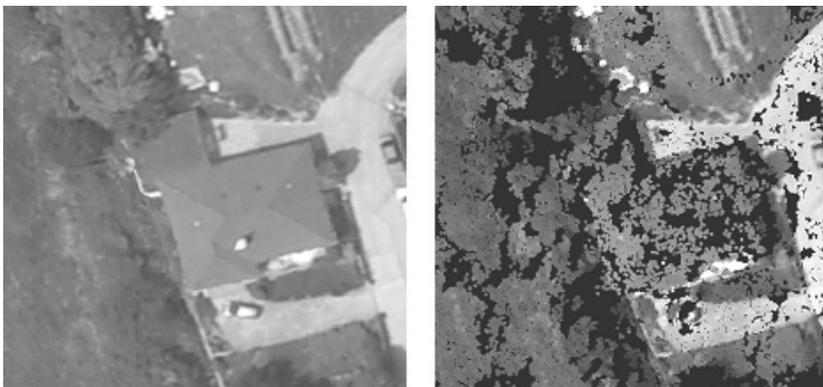


Abb. 2: Luftbild (links) und die daraus resultierende Punktwolke (rechts) (Datengrundlage: BUNDESAMT FÜR EICH- UND VERMESSUNGSWESEN 2010)

Die Hauptaufgabe der digitalen Photogrammetrie ist die Herstellung eines Bezugs zwischen identischen Punkten zweier Bilder (ZHANG 2006). Die Höhe der zusammengehörenden Punkte bzw. bei digitaler Aufnahmetechnik des Pixelpaares, kann aus der Aufnahmegeometrie (innere Orientierung, äußere Orientierung) ermittelt werden. Neue Algorithmen, wie „Blunder detection techniques“, „multi ray matching“ und „back-matching“ Verfahren erlauben die Kalkulation eines Höhenwerts pro Pixelpaar, dem Ursprung einer photogrammetrischen Punktwolke.

Das „enhanced Automatic Terrain Extraction“ Modul der Photogrammetrie Suite ERDAS LPS ist zur Generierung von hochdetaillierten Oberflächenmodellen konzipiert und basiert auf den beschriebenen Algorithmen. Darüberhinaus bietet die Software Möglichkeiten qualitätsverbessernde Maßnahmen im Subpixel- und Bruchlinienbereich durchzuführen (ERDAS User Guide). Dabei können sowohl Luftbilder als auch Satellitendaten prozessiert werden, sofern sie als Stereobildpaar verfügbar sind.

Die für jedes Bildpixel durchgeführte Berechnung der Höheninformation ist ein rechenintensiver Prozess, der jedoch durch die Unterstützung von Mehrkernprozessoren und der Möglichkeit, die Rechenleistung auf mehrere Computer im Netzwerk zu verteilen, beschleunigt wird. Die so berechnete Punktwolke mit zum Teil extremen Punktdichten (30 Punkte pro Quadratmeter) werden im LAS-Dateiformat gespeichert. Dieses standardisierte Format wird bei der Verarbeitung LiDAR-Punktwolken eingesetzt und stellt für weiterführende Analysen eine gute Ausgangsbasis dar.

Die schon angesprochene Möglichkeit der Verteilung der Rechenleistung und die erweiterten Algorithmen erlauben eine simultane Höhenextraktion aus mehrfach überlappenden Stereobildpaaren und sogenannten Multi-Ray Images. Damit wird eine Verbesserung der Präzision und gleichzeitig eine Erhöhung der Punktdichte, vor allem in Regionen mit abrupten Höhenübergängen (z. B. Gebäuden), erreicht.

2 Anwendungsbeispiele

2.1 Forstanwendung: Wuchshöhenbestimmung

Das Definieren von Waldmasken und die Ableitung von Baumkronen aus LiDAR Daten sind praxisorientierte Produkte aus Laserscandaten, welche mehrfach in forstwirtschaftlichen Fragestellungen zur Anwendung kommen (Beispiele in HOLLASUS et. al 2010 und VOSSSELMAN et. al 2010).

Das Potenzial photogrammetrisch erzeugter Oberflächen ist bei forstlichen Fragestellungen noch nicht ausgeschöpft. So können beispielsweise, in Verbindung mit existierenden Geländemodellen unter der Annahme einer unveränderten Geländeoberfläche, aktuelle Bestands- und Höhenangaben erstellt werden. Für die Ableitung von Wald- bzw. Baumkronenoberflächen empfiehlt sich die Verwendung von CIR bzw. 4-Kanal-Bildern. Durch die größere Informationsdichte ist die eine eindeutigere Identifikation von Pixeln in den Stereobildern möglich. Dadurch werden sowohl höhere Punktdichten als auch exaktere Objekt ableitungen erreicht.

Für weiterführende Analysen ist eine Aggregation der Punktwolke zu einem Raster mit einer adäquaten Auflösung sinnvoll. Das resultierende Oberflächenmodell und das, vom Bundesamt für Eich- und Vermessung zur Verfügung gestellte 5-m-Geländemodell wurden subtrahiert um Wuchshöhen für Waldgebiete zu unterscheiden und folglich zu klassifizieren. Das Ergebnis dieser Klassifizierung ist in Abbildung 3 dargestellt. Die weiteren Anwendungsmöglichkeiten sind vielfältig, beispielsweise wären detaillierte Analysen auf Basis der Punktwolke, wie in HOLLAU et. al 2010 für ALS-Daten aufgeführt, möglich.

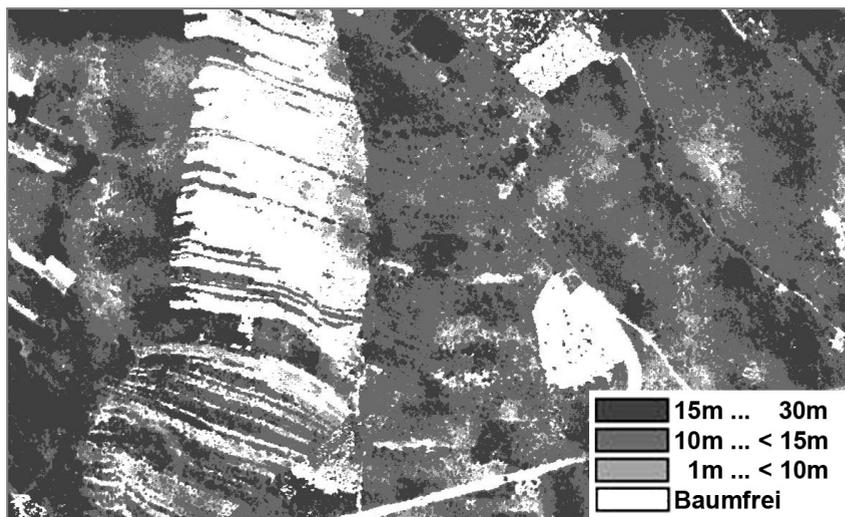


Abb. 3: Höhenklassifizierter Waldbestand, abgeleitet aus photogrammetrischem 1-m-DOM und 5-m-DGM (Datengrundlage: BUNDESAMT FÜR EICH- UND VERMESSUNGSWESEN 2010)

2.2 Blockgletschermonitoring

Durch die Verfügbarkeit historischer Luftbilder in Archiven können „vergangene“ wie auch „aktuelle“ Oberflächen photogrammetrisch extrahiert werden. Bei fehlenden Orientierungselementen können mit einem entsprechenden Mehraufwand bei der Konfiguration der Kameraorientierungen, historische Oberflächen rekonstruiert und für dreidimensionale Zeitreihenanalysen herangezogen werden.

Im Zuge des Projekts C4Austria wurde die Idee, die Veränderungen der vier im Projekt behandelten Blockgletscher im Sinne eines Langzeitmonitorings über photogrammetrische Luftbilddauswertung der letzten 65 Jahre zu untersuchen, umgesetzt. Ziel ist, aus sich überdeckenden analogen Luftbildern, erworben vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, dem Amt der Tiroler Landesregierung sowie projektinternen Daten, Geländemodelle zu generieren und aus diesen horizontale Bewegungsvektoren und vertikale Höhenänderungen abzuleiten. Zusätzlich wurde die Zeitreihe mit ALS-Daten verlängert, um einen Vergleich sowie eine Kombination verschiedener Methoden zu implementieren.

In Abbildung 4 werden der Workflow für die Berechnung sowie erste Ergebnisse der vertikalen Änderung der Blockgletschergeometrie dargestellt, indem Differenzen aus den multitemporalen digitalen Geländemodellen (DGM) gebildet wurden.

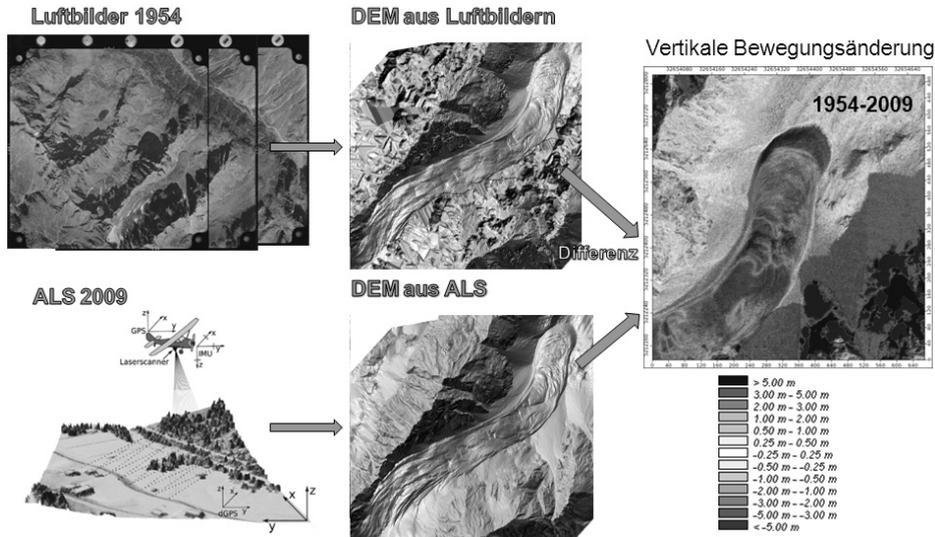


Abb. 4: Prinzip der Messung von vertikalen Änderungen beim Blockgletschermonitoring. Aus den Luftbildern sowie aus den ALS-Punktwolken wurden 1-m-DGMs erstellt und anschließend voneinander abgezogen. Das Ergebnis ist ein 1m Raster, das die vertikalen Änderungen über den jeweiligen Zeitraum zeigt.

Eine Genauigkeitsabschätzung durch Vergleich der aus Luftbildern generierten DGMs, speziell mit hochaufgelösten Daten aus den ALS-Befliegungen zeigte eine Standardabweichung von 0,3 bis 1,4 m und maximale Höhenunterschiede von 2 m. Die Genauigkeit wird durch systematische Fehler, wie Abschattungen, steiles Gelände, schlechte Kontrastierung im Bild, stark beeinflusst (ROER 2005).

Die gemittelte Standardabweichung kann als Qualitätskriterium herangezogen werden (ROER et al. 2005). Die in dieser Studie erzielte gemittelte Standardabweichung aller Geländemodelle mit einem Betrag von 0,8m entspricht laut ROER et al. (2005) einem sehr guten Ergebnis.

2.3 Multitemporale Auswertungen

Das Ziel einer multitemporalen Auswertung ist die Identifikation von Veränderungen innerhalb eines Gebietes über eine bestimmte Zeit (LINDENBERGH 2010). Oberflächenmodelle aus LiDAR-Punktwolken eignen sich für diese Aufgabenstellung, jedoch sind deren zeitliche Wiederholrate gering und die Kosten für neue Erhebungen hoch. Photogrammetrisch erstellte Oberflächenmodelle sind aufgrund der wiederkehrenden, oftmals periodischen Luftbildbefliegungen, in der Lage zeitliche Lücken zu füllen und bilden folglich die Basis für aktuelle Auswertungen. Die Vergleich- und gemeinsame Prozessierbarkeit von

LiDAR- und photogrammetrischen Punktwolken ist, die geeignete Wahl von Luftbildern vorausgesetzt, gegeben.

Für Siedlungsgebiete muss von einer minimalen Bodenauflösung von 25 cm ausgegangen werden um ausreichend Höhenpunkte zu generieren. Aufgrund eines hohen Anteils an kontrastarmen Bereichen, wie Gebäude- und Vegetationsabschattung, sind bei dieser Anwendung Lücken und Fehlpunkte bei photogrammetrischen Oberflächenmodellen zu erwarten. Markante Höhenänderungen beim Vergleich der Zeitschritte stellen die Grundlage für multitemporalen Change-Detection Analyse dar.

Mithilfe von Stereo-Satellitenbildern wie Worldview2, GeoEye-1, QuickBird, etc. ist die zukünftige Generierung von aktuellen Oberflächen weltweit in hohem Detailierungsgrad möglich. Multitemporale Höhenänderungsanalysen sind auf Basis mit der Verfügbarkeit derartiger Ausgangsdaten zukünftig noch attraktiver, zumal die zeitliche- und räumliche Auflösung immer detailliertere Auswertungen zulässt.

3 Fazit

Die Verfügbarkeit von hochaufgelösten Satelliten- und Luftbildern, sowie verbesserte Algorithmen in den Softwareprodukten, sind optimale Voraussetzungen um qualitativ hochwertige Oberflächenmodelle zu generieren. Je nach Aufgabenstellung dienen Punktwolken aus Luftbildern als Ergänzung zu bestehenden LiDAR-Daten. Der Vorteil besteht in der kombinierten Nutzung und den gemeinsamen Verarbeitungsmöglichkeiten der beiden Technologien. LiDAR-Befliegungen und photogrammetrisch erzeugte Oberflächenmodelle aus Luftbildern ergänzen sich in Genauigkeit bzw. zeitlicher Wiederholrate und bilden so die Grundlage für vielfältige Anwendungen und Auswertungen.

Literatur

- ERDAS USER GUIDE (2010): LPS – Automatic Terrain Extraction, Atlanta.
- ERDAS INC. (O. J.): Product Description eATE. Web: www.erdas.com (20.1.2011).
- HOLLAUS, M., EYSN, L., SCHADAUER, K., JOCHEM, A., PETRINI, F. & MAIER, B. (2010): LASER-WOOD: Estimation of the above ground biomass based on laser scanning and forest inventory data. In: Tagungsband des 11. Österreichischen Klimatags. http://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_191915.pdf.
- LINDENBERGH, R. (2010): Engineering Applications. In: VOSSELMAN, G. & MASS, H.-G. (Eds.): Airborne and Terrestrial Laser Scanning. Whittles Publ., Dunbeath.
- ROER, I., KÄÄB, A. & DIKAU, R. (2005): Rockglacier kinematics derived from small-scale aerial photography and digital airborne pushbroom imagery. *Z Geom.*, 49, S. 73-87.
- SHAN, J. & TOTH, C. K. (Eds.) (2009): Topographic Laser Ranging and Scanning. Principles and Processing. CRC Press, New York.
- VOSSELMAN, G. & MASS, H.-G. (Eds.) (2010): Airborne and Terrestrial Laser Scanning. Whittles Publishing, Dunbeath.
- ZHANG, B., MILLER, S. & VENECIA, K. (2006): Automatic Terrain Extraction Using Multiple Image Pair and Back Matching. In: ASPRS 2006 Annual Conference, Reno Nevada.