
Landesweite Datenerhebung mit ALS: Technologische Herausforderungen und vielseitige GIS-Anwendungen

Roland WÜRLÄNDER, Wolfgang RIEGER, Peter DREXEL, Christian BRIESE

Zusammenfassung

Dieser Artikel erläutert anhand eines konkreten Projektes die Ableitung von digitalen Geländemodellen und digitalen Oberflächenmodellen in hoher Qualität aus einer Laserbefliegung. Für die großräumige Erstellung dieser Produkte im Landeskoordinatensystem wird die Notwendigkeit einer exakten Georeferenzierung erläutert und ein Einblick in die technischen Herausforderungen und Lösungen für die Filterung der Daten gegeben. Eine Untersuchung zur Tauglichkeit von Intensitätsbildern als neue Datenebene für die GIS-Datengewinnung rundet den Beitrag ab.

1 Einführung

Die besondere Eignung von Airborne Laser Scanning (ALS) für die Ableitung von hochgenauen digitalen Höhenmodellen – in Form von digitalen Geländemodellen (DGM) oder digitalen Oberflächenmodellen (DOM) ist inzwischen hinlänglich bekannt und dokumentiert (KRAUS, 2004). Im Vergleich zur klassischen Methode zur Gewinnung von DGM – der Photogrammetrie – wird ALS vor allem in Anwendungsbereichen mit hohen Genauigkeitsanforderungen (z.B. Hydrologie), in bewaldeten Bereichen und in Gebieten mit schwacher Textur (z.B. Gletscher) zunehmend als die geeignetere Technologie anerkannt.

Da das DGM in landesweiten Geobasisdaten eine wichtige Datenebene darstellt und die oben beschriebenen Anwendungsgebiete des ALS sich über die verschiedenen Naturräume der meisten österreichischen Bundesländer erstrecken, liegt es nahe, diese moderne Technologie für eine landesweite Datenerhebung in Betracht zu ziehen. Dieser Weg wurde im Bundesland Vorarlberg ab dem Jahre 2002 konsequent beschritten. Die Befliegung und Prozessierung des Landesgebietes war in mehrere Lose aufgeteilt. Für zwei Teilgebiete (Oberland und Walsertal) mit einer Gesamtfläche von ca. 710 km² wurde hierfür im Jahr 2004 die Arbeitsgemeinschaft der Firmen AVT und Ingenieurkonsulent K. Wenger-Oehn mit folgenden technischen Vorgaben beauftragt:

- Erfassungsdichte mindestens 1 Punkt je qm (4 Punkte je qm für das Stadtgebiet Feldkirch)
- Streifenweise Lieferung von First- und Lastpulse-Punkten
- Erstellung eines homogenen DOM mit 1m Rasterweite im Landessystem
- Filterung der Punkte nach Geländepunkten und Hochpunkten (Gebäude, Vegetation etc.) und Erstellung eines homogenen DGM mit 1m Rasterweite im Landessystem
- Erstellung von Intensitätsbildern aus den Intensitätswerten von First- und Last-Pulse in einer Rasterweite von 25cm (analog den bestehenden Orthophotos) im Landessystem

Das in der Abb. 1 wiedergegebene Bearbeitungsgebiet weist eine besondere Vielfalt von Naturräumen aus. Sie reicht von der Rheinebene mit Auenlandschaften über dicht besiedelte Städte (z.B. Feldkirch, Bludenz) hinein in bewaldetes Hügelland und Hochgebirge bis über 2400m. Dies führt zu besonderen Herausforderungen in verschiedenen Arbeitsschritten der Datengewinnung und -prozessierung. Hierzu zählen die Flugplanung, die lokale Koordinatentransformation, die exakte Georeferenzierung inkl. Streifenanpassung und die Filterung der Laserpunkte nach Boden- und Hochpunkten.

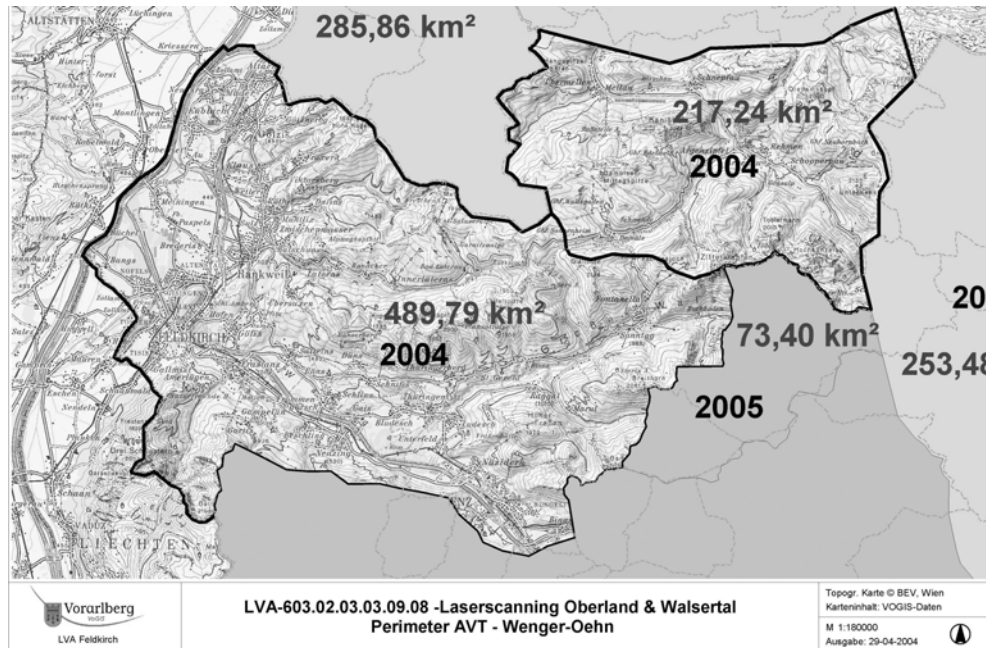


Abb. 1: Bearbeitungsgebiet ALS Vorarlberg 2004 der ARGE AVT / Wenger-Oehn

Eine umfangreiche Beschreibung des Gesamtprojektes ist in RIEGER et. al., 2005 nachzulesen. In diesem Artikel wird deshalb nur auf einige technisch interessante Bereiche fokussiert: Die Georeferenzierung, die Filterung von ALS-Daten als Grundlage für die Erstellung von DGM und die Erstellung und die Einsatzfähigkeit von Intensitätsbildern.

2 Georeferenzierung von ALS-Daten

Die Endprodukte einer ALS-Prozessierung sollen zumeist im jeweiligen Landeskoordinatensystem geliefert werden. Dies erfordert die zwei Arbeitsschritte

- Absolute Koordinatenbestimmung mittels satellitengestützter Positionsbestimmung (GPS) und Messung der Drehwinkel mit einem Inertialsystem (INS) im Koordinatensystem UTM/WGS84 (ellipsoidischen Höhen) und
- Transformation dieser Koordinaten ins Landessystem (orthometrische Höhen).

Die Meßsysteme (Laserdistanzmesser / dGPS / INS) für die Gewinnung der Laserpunkt-
wolke erreichen bei exakter und stabiler Kalibrierung und störungsfreien Aufnahmebedin-
gungen eine mittlere Genauigkeit von wenigen Dezimetern für die Punkte im Koordinaten-
system UTM/WGS84. Falls dieselben hohen Genauigkeitswerte auch für großräumige
Daten im Landeskoordinatensystem verlangt werden (z.B. auch in diesem Projekt mit einer
geforderten mittleren Höhengenaugigkeit von $\pm 20\text{cm}$), sind folgende Gesichtspunkte zusätz-
lich zu beachten:

- Große Gebiete mit starken Höhenunterschieden erfordern eine Vielzahl von Flugstrei-
fen an mehreren Flugtagen und in unterschiedlichen Flughöhen (in diesem Projekt z.B.
17 Flugtage mit über 700 Flugstreifen). Eine stabile Kalibrierung und störungsfreie
Datenerfassung über diesen Zeitraum hinweg ist nicht sichergestellt. Dies lässt sich
durch die Begutachtung von Höhendifferenzen zwischen den Daten einzelner Flug-
streifen in der Regel leicht erkennen.
- Bei der Transformation ins Landeskoordinatensystem ist auch eine genaue Kenntnis
des lokalen Geoids wegen des Übergangs von ellipsoidischen Höhen (dGPS) auf die
orthometrischen Höhen (Gebrauchshöhen) zu beachten. Das Geoid weist vor allem im
gebirgigen Bereich häufig starke lokale Deformationen auf. Die zumeist fehlende
Kenntnis hierüber und zusätzlich eventuell vorhandenen Netzspannungen können zu
deutlichen Genauigkeitsverlusten führen.

Neben einer Bewertung der tatsächlich im Landeskoordinatensystem erreichten Genauig-
keitswerte sind diese Gesichtspunkte eindeutige Argumente für den Einsatz einer verfeinerten
Georeferenzierung nach dem am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der
TU-Wien (I.P.F.) entwickelten Verfahren (siehe KAGER, 2003). Bei diesem Verfahren
werden Verknüpfungs- und Passinformationen (identische Flächenelemente) in den Flug-
streifen gemessen und im Rahmen eines Ausgleichsprozesses auch Korrekturen an die
GPS- und INS-Werte angebracht („Nachkalibrierung“ des Meßsystems).

Der Einsatz dieser verfeinerten Georeferenzierung inklusive Streifenanpassung im Rahmen
des vorgestellten Projektes ergab einen mittlerer Fehler über alle Beobachtungen von
 $\pm 5\text{cm}$.

3 Herausforderungen bei der Filterung von ALS-Daten

Eine Voraussetzung für die Berechnung des Geländemodells aus ALS-Daten ist deren
Klassifizierung nach Geländepunkten (Punkte auf der Erdoberfläche zur Berechnung des
DGM) und Hochpunkten (Vegetation, Gebäude, Brücken etc). Die Klassifizierung erfolgte
mit der am I.P.F. der TU Wien entwickelten und in dem Softwarepaket SCOP++ imple-
mentierten hierarchischen robusten Interpolation (BRIESE et. al., 2002). Diese erlaubt mit
einer Vielzahl von Parametern die Anpassung der Filterstrategie an verschiedene Gelände-
typen. Allerdings entsteht durch eine häufige Änderung der Filterstrategie ein inhomogener
Eindruck für das resultierende DGM. Für dieses Projekt wurde deshalb zu großen Teilen
derselbe Parametersatz verwendet. Lediglich im Hochgebirge oberhalb der Waldgrenze
wurde ein zusätzlicher Parametersatz iterativ angewendet.

Ein entscheidender Parameter der Filterstrategie ist die Rasterweite der ersten Strategiestufe. Ist diese Rasterweite zu fein eingestellt, bleiben größere Gebäude oder auch dichte Vegetationsbestände im Datensatz erhalten. Andererseits werden bei einer größeren Rasterweite Punkte auf Graten im Gebirge oder Kämmen im Hügelland gefiltert, d.h. diese Geländeformen werden systematisch abgeflacht. Ein Beispiel hierzu zeigt die Schräglightschummerung in Abb. 2 links.

Dieser Fehler wurde im Hochgebirge mittels einer geänderten Filterstrategie, im hügeligen Gelände, in dem auch Gebäude und dichte Vegetation gefiltert werden müssen, mittels einer temporären Einführung von aus den Laserdaten manuell abgeleiteten Geländekanten in den Prozess der Filterung erfolgreich behoben. Die am I.P.F. der TU Wien entwickelte Methode zur rechnergestützten Ableitung von Geländekanten (BRIESE, 2004) stand im Rahmen dieses Projektes noch nicht zur Verfügung. Anhand von späteren Untersuchungen an einigen Gebietsausschnitten konnte überwiegend eine sehr gute Übereinstimmung mit den manuell abgeleiteten Kanten erzielt werden. Die Abb. 2 links zeigt in Schwarz die manuell ermittelte, in Weiß die unabhängig davon rechnergestützt abgeleitete Kante. In Abb. 2 rechts erkennt man die deutliche Verbesserung der Filterung durch die temporäre Einführung der abgeleiteten Geländekante.

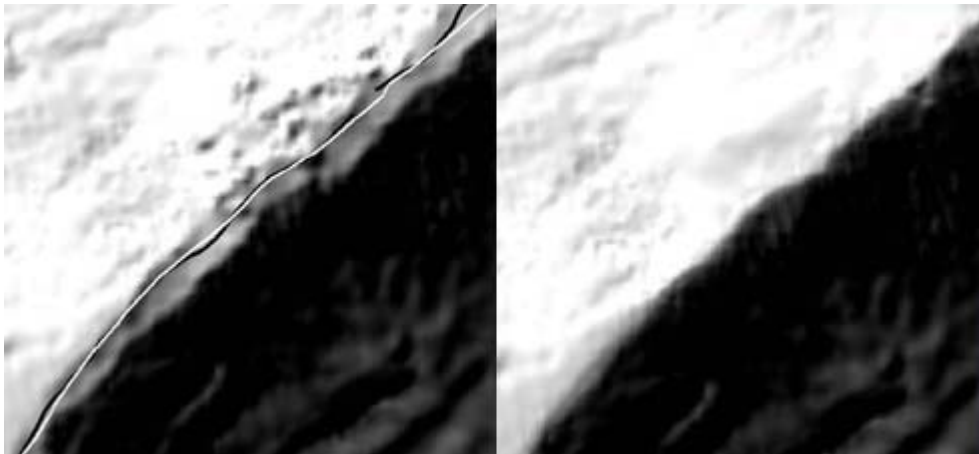


Abb. 2: Schräglightschummerung des DGM vor (linke Seite) und nach (rechte Seite) der Einführung einer temporären Geländekante, links überlagert in Schwarz die manuell, in Weiß die semi-automatisch abgeleitete Kante.

Neben dem aufgezeigten Sachverhalt gibt es im Rahmen der Filterung und DGM-Berechnung nach dem heutigen Stand der Technik noch weitere Herausforderungen:

- Die Filterung von Brückenbauwerken erfolgt unvollständig und inhomogen
- Die korrekte Filterung von Felsabbrüchen in Waldgebieten ist sehr schwierig
- Punkte in Kellerschächten und –treppen erzeugen unschöne Interpolationsergebnisse
- Große Datenlücken nach der Filterung (dichter Wald, Wasserflächen, Industriegebäude) sorgen für Interpolationsprobleme.

Die meisten dieser Schwächen bei der Filterung und Interpolation werden durch aktuelle Weiterentwicklungen am Programmsystem SCOP++ deutlich reduziert. Ein gewisses Maß an manuellen Korrekturen wird jedoch auch zukünftig für eine hohe und homogene Qualität von DGM aus ALS-Daten notwendig sein.

4 Anmerkungen zur Anwendung von Intensitätsbildern

Intensitätsbilder entstehen durch Interpolation eines regelmäßigen Rastermodells auf Basis der unregelmäßig verteilten Intensitätswerte. Dieses „Nebenprodukt“ einer ALS-Befliegung wird selten benutzt, da es im Vergleich zu einem Orthobild einige Nachteile aufweist:

- In der Regel eine geringere Auflösung
- Starke Unterschiede zwischen den Flugstreifen, bedingt durch eine Histogrammeinebnung im System
- Das reflektierte Signal des aktiven Sensors ist abhängig von der Strahlrichtung
- Das Ergebnisbild entspricht nicht den menschlichen Sehgewohnheiten (aktiver Sensor, Wellenlänge im nahen Infrarot)

Auf den ersten Blick ist ein Intensitätsbild somit sowohl für eine manuelle Auswertung als auch für automatische Klassifikationsmethoden kaum geeignet. Dennoch sind in den Intensitätsbildern einige Details gut erkennbar (Häuser, Straßen, Waldflächen). Zusätzlich weist es auch einige nennenswerte Vorteile gegenüber dem Orthobild auf:

- Wegen des aktiven Sensors gibt es keine Schatten
- Es gibt keine stürzenden Bereiche im Bild, alle Punkte sind orthorektifiziert

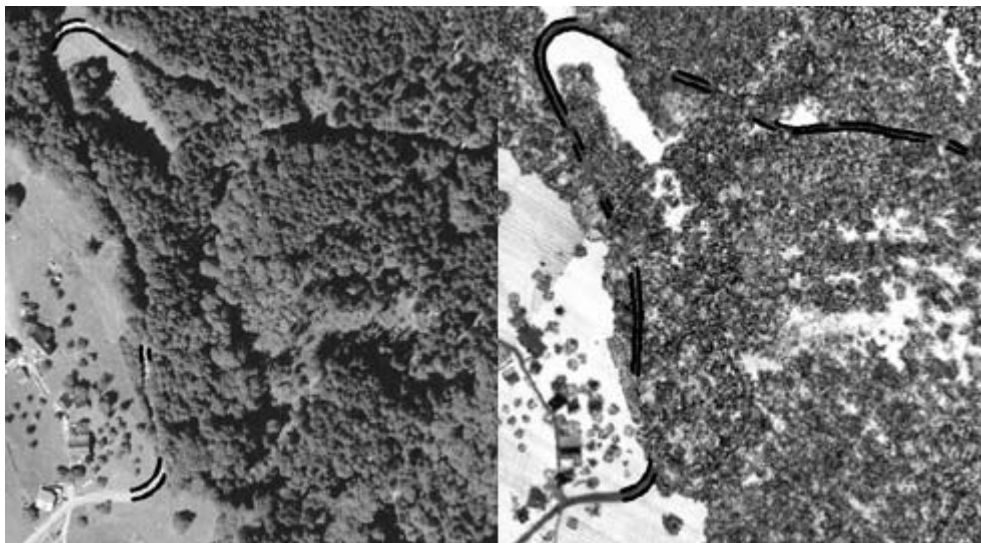


Abb. 3: Orthophoto (links) und Intensitätsbild (rechts), jeweils mit erkennbaren Straßenrändern in Schwarz

- Lasersysteme haben in der Regel steilere Einblickswinkel als die Bildstrahlen der Zentralperspektive

Diese Eigenschaften ermöglichen z.B. die lagerichtige Erfassung von im Orthophoto zu meist stürzenden Objekten (Brücken, Häuser) und eine im Vergleich zum Orthophoto deutlich verbesserte Erfassung von in Waldgebieten verlaufenden Straßen und Wegen. Dies wird in der Abb. 3 verdeutlicht. In dem Orthobildausschnitt auf der linken Seite können nur sehr kleine Abschnitte der Straßenränder gemessen werden (schwarze Linien). Der Verlauf ist zwar wegen der sichtbaren Waldschneise zu erahnen, eine Messung wegen fehlendem Einblick oder starkem Schatten jedoch selten möglich. Nahezu vollständig konnten dagegen die Straßenränder im Intensitätsbild auf der rechten Seite erfasst werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Aus ALS-Daten abgeleitete DOM und DGM sind zunehmend wichtige Datenebenen von landesweit verfügbaren GeoBasisdaten. Deren Erstellung für die in Österreich überwiegend vorliegenden variablen Landschaftstypen mit hoher Reliefenergie lässt sich in hoher Qualität nur bewerkstelligen, wenn sowohl für die Georeferenzierung als auch für die Filterung verfeinerte Ansätze zum Einsatz kommen. Hierzu wurden bereits am I.P.F. der TU Wien geeignete Methoden entwickelt. Im Rahmen eines an diesem Institut angesiedelten Forschungslabors der Christian Doppler Gesellschaft werden in Zusammenarbeit mit den Firmen AVT und Wenger-Oehn diese Methoden für die Anwendung in der Praxis weiterentwickelt. Dies gilt insbesondere für die Georeferenzierung, Filterung und Kantenextraktion.

Die Charakteristika der vorgestellten Intensitätsbilder erlauben bereits heute deren Einsatz für spezielle Aufgaben im GIS-Bereich. Eine verstärkte Nutzung in Form von automatischen Klassifizierungsmethoden könnte in Zukunft möglich sein, wenn eine sinnvolle Normierung dieses Signals gelingt.

6 Literatur

- Briese, C. (2004): *Three-dimensional Modelling of Breaklines from Airborne Laser Scanner Data*. In: O. Altan (ed.): Proc. XXth ISPRS Congress, Istanbul, Vol XXXV, Part B/3 (2004), ISSN 1682-1750; 1097 - 1102.
- Briese, C., Pfeifer, N., Dorninger, P. (2002): *Applications of the Robust Interpolation for DTM determination*. In: Proc. ISPRS-Comm. III, Graz; 9. – 13.9.2002; Int. Archives of Photogr. and Remote Sensing", Volume XXXIV / 3A (2002), ISSN 1682-1750; 55 - 61.
- Kager, H. (2003): *Simultaneous Georeferencing of Aerial Laser Scanner Strips*. Öst. Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation (VGI), 91. Jahrgang (2003), 4; 235 - 242.

- Kraus, K. (2004): *Photogrammetrie, Band 1, Geometrische Informationen aus Photographien und Laserscanneraufnahmen*. Walter de Gruyter, Berlin, 2004, ISBN 3-11-017708-0; 516 Seiten.
- Rieger W., Seebacher M., Würländer R., Bauerhansl C. (2005): *Erstellung eines Laser-DHM für Vorarlberg 2002 – 2005*. In: Chesi/Weinold (Hrsg.): Internationale Geodätische Woche Obergurgl 2005, Tagungsband, Wichmann-Verlag, Heidelberg, S. 115-124.