

Maßstabsabhängige Modellierung von Strukturlinien aus Airborne Laser Scanning Daten

CHRISTIAN BRIESE¹, GOTTFRIED MANDLBURGER¹ & WERNER MÜCKE²

Zusammenfassung: Digitale Geländemodelle (DGM) stellen eine wichtige Datengrundlage für viele unterschiedliche Anwendungen dar. Für die Erstellung hochgenauer DGM werden typischerweise gemessene individuelle Stützpunkte und linienhaft erfasste Geländestrukturen genutzt. Im Rahmen dieses Beitrags wird eine Methode und Software zur vollautomatischen Ableitung von Strukturlinien aus Airborne Laser Scanning (ALS) Daten vorgestellt. Anhand unterschiedlicher Datensätze werden im Rahmen dieser Publikation die automatisch erzielten Ergebnisse vorgestellt, diskutiert und mit unabhängigen Referenzdaten verglichen. Es wird vor allem auch auf die maßstabsabhängige Ableitung von Strukturlinien für unterschiedliche DGM Auflösungen eingegangen. Es gelingt durch entsprechende Ausdünnung der Oberflächenpunkte, die Generalisierung der automatisch generierten Strukturlinien einer manuellen photogrammetrischen Auswertung anzunähern.

1 Einleitung

Digitale Geländemodelle (DGM) stellen eine wichtige Datengrundlage für viele unterschiedliche Anwendungsbereiche, wie z.B. der Hydrologie, Forstwirtschaft und Stadtplanung, dar. Für die Erstellung hochgenauer DGM werden typischerweise gemessene individuelle Stützpunkte und linienhaft erfasste Geländestrukturen genutzt. Während früher großflächige Geländemodelle vor allem anhand von Daten, die mittels manueller photogrammetrischer Stereoauswertung gewonnen wurden, erstellt wurden, haben sich in den letzten Jahren automatisierte Datenerfassungsmethoden, wie das luftgestützte Laserscanning (engl. Airborne Laser Scanning, ALS) und die automatische Bildkorrelation (engl. image matching) immer mehr bewehrt. Im Gegensatz zu den manuellen Datenerfassungsmethoden ist es allerdings bei diesen Methoden notwendig die dichte automatisch generierte Punktwolke, die unterschiedliche Objekte (die Geländeoberfläche aber auch künstliche und natürliche Objekte auf dem Gelände) repräsentiert, in geländemodellrelevante Punkte zu klassifizieren. Für diese Klassifizierung, die oft auch als Filterung bezeichnet wird, stehen viele unterschiedliche Verfahren zur Verfügung (vgl. BRIESE, 2010). Anhand der klassifizierten Bodenpunkte können sehr detaillierte DGM erstellt werden. Im Gegensatz zum DGM aus manuell erfassten Daten beinhalten diese Modelle keinerlei Strukturlinieninformation. Diesem Nachteil wirkt die zumeist sehr dichte automatisierte Datenerfassung entgegen wodurch Linien (Grate, Böschungslinien, etc.) implizit im DGM repräsentiert werden. Für bestimmte Anwendungen (z.B. in der Hydraulik) oder für die

¹ Christian Briese, Gottfried Mandlbürger, Christian Doppler Labor "Spatial Data from Laser Scanning and Remote Sensing", Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Wien, Gußhausstraße 27-29, A-1040 Wien; E-Mail: {cb, gm}@ipf.tuwien.ac.at

² Werner Mücke, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Wien, Gußhausstraße 27-29, A-1040 Wien; E-Mail: wm@ipf.tuwien.ac.at

Datenreduktion der sehr dichten DGM kann allerdings eine explizite Bestimmung von Strukturlinien gewünscht werden.

Im Rahmen dieses Beitrags wird die am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung (I.P.F.) der Technischen Universität Wien entwickelte Methode und Software zur vollautomatischen Ableitung von Strukturlinien aus ALS Punktwolken vorgestellt (Abschnitt 2). Diese Methode besteht aus drei Schritten: 1. Näherungsweise Detektion von potentiellen Linienpunkten, 2. Modellierung von Strukturlinien anhand der potentiellen Linienpunkte und 3. Überarbeitung der Modellierungsergebnisse. Im Abschnitt 3 werden Ergebnisse dieser Strukturlinienmodellierung anhand verschiedener Datensätze mit unterschiedlicher Punktdichte vorgestellt (Main Fluss (3.1), städtisches Gebiet (3.2) und alpines Gebiet (3.3)). Die Ergebnisse werden diskutiert und zudem mit unabhängigen Referenzdaten verglichen. Anschließend wird auf die maßstabsabhängige Ableitung von Strukturlinien für unterschiedliche DGM Auflösungen eingegangen. Dabei werden die Ergebnisse für unterschiedliche Auflösungen der Oberflächenpunktwolke vorgestellt und den photogrammetrisch manuell erfassten Strukturlinien des österreichweiten DGM (10m Gitter mit Strukturlinien) des Bundesamts für Eich- und Vermessungswesen gegenübergestellt.

2 Vollautomatische Modellierung von Strukturlinien

Für die Modellierung von Strukturlinien aus ALS Daten wurden einige rasterbasierte Verfahren vorgestellt (vgl. BRÜGELMANN (2000), GOMES-PEREIRA & WICHERSON (1999) und SUI (2002)). Diese Verfahren bestimmen typischerweise anhand eines bereits erstellten DGM im ersten Schritt mittels unterschiedlicher Rasteroperationen 2D Linienpixel, aus denen anschließend 2D Linien mittels eines Vektorisierungsalgorithmus erstellt werden. Im letzten Schritt wird die Höhe der Linien typischerweise aus dem gegebenen DGM interpoliert. WEHR & DUZELOVIC (2009) beschreiben hingegen ein Verfahren, das anhand eines gefilterten TIN (Triangulated Irregular Network) eine Detektion von Liniensegmenten (Dreieckskanten) durchführt. In einem weiteren Schritt verbessern WEHR & DUZELOVIC (2009) den Linienvorlauf durch einen lokalen Verschnitt von Geraden quer zur initialen Liniengerichtung. Im Gegensatz zu diesen Verfahrenen wird in der Publikation BRIESE (2004) ein semi-automatisches Verfahren zur Strukturlinienbestimmung direkt anhand der ALS Punktwolke vorgestellt. Dieses Verfahren basiert auf der lokalen Verschneidung von robust bestimmten Ebenenpaaren, die anhand der ursprünglich irregulär verteilten ALS Punktwolke bestimmt werden. Dieses Verfahren, das Schritt für Schritt erweitert wurde (z.B. bis hin zur Anwendung für terrestrische Laserscanner Daten, vgl. BRIESE & PFEIFER, 2008) bildet die Basis des hier vorgestellten Verfahrens zur vollautomatischen Strukturlinienbestimmung.

In den folgenden Abschnitten wird das Verfahren und die softwaremäßige Umsetzung im Programmpaket STREX (STRucture line EXtractor) zur vollautomatischen Strukturlinienbestimmung vorgestellt. Das Verfahren besteht aus drei Schritten: Zunächst werden potentielle Liniensegmente detektiert (Abschnitt 2.1), anhand dieser Liniensegmente erfolgt die Modellierung der Strukturlinien (Abschnitt 2.2) und das Modellierungsergebnis wird in einem finalen 3. Schritt verbessert (Abschnitt 2.3). Im Gegensatz zu anderen publizierten Verfahren, zeichnet sich diese Methode dadurch aus, dass sie eine simultane 2.5D bzw. 3D Bestimmung der Linien ermöglicht und zudem vor der Klassifizierung der ALS Daten in Boden und Nicht-Bodenpunkte angewandt werden kann bzw. soll. Vorab ist keine DGM Erstellung

(Raster, Gitter oder TIN) erforderlich. Das Verfahren benötigt als Eingabe nur die unklassifizierte ALS-Punktwolke. Erst im Rahmen der Modellierung erfolgt eine lokale Filterung (Klassifizierung in Boden- und Nicht-Bodenpunkte), wodurch Vegetationspunkte im Bereich der Strukturlinie keinen signifikanten Beitrag zum 3D Linienverlauf liefern. Anschließend können die ermittelten Linien die Klassifikation der Punktwolke in diesen Bereichen unterstützen. Dies ist von besonderem Vorteil, da ohne das Wissen einer vorliegenden Strukturlinie oftmals Klassifizierungsfehler durch ungerechtfertigtes Ausrunden auftreten können (vgl. SITHOLE & VOSSELMAN, 2004).

2.1 Detektion von potentiellen Liniensegmenten

Für die Detektion von initialen Linienpunkten wurden unterschiedliche rasterbasierte Methoden publiziert. Rasterbasierte Verfahren haben den Vorteil, dass sobald das Raster vorliegt die Rechenzeiten aufgrund der Rastertopologie typischerweise gering sind. Allerdings kann durch die Modellbildung Information über Oberflächendetails verloren gehen (AXELSSON, 1999) und die Erstellung des Modelles benötigt auch einen gewissen Rechenaufwand (in Abhängigkeit von der Interpolationsmethode).

Um die im vorigen Absatz erwähnten Nachteile zu umgehen und möglichst die gesamte Information der ALS Punktwolke zu nutzen, wurde im Rahmen dieser Forschungsaktivitäten eine Methode basierend auf einer lokalen Untersuchung der geometrischen Eigenschaft benachbarter ALS-Punkte entwickelt. Dieser Ansatz basiert auf der Analyse der Hauptkrümmung κ_{\min} und κ_{\max} einer ausgleichenden Quadrik (Fläche zweiter Ordnung), die für einen ALS-Punkt anhand seiner benachbarten Punkte bestimmt werden kann. Die lokalen Werte für die Hauptkrümmung und die jeweiligen Hauptkrümmungsrichtungen können nach der Ausgleichung anhand der allgemein liegenden Quadrik mittels Hauptachsentransformation bestimmt werden. Um zu entscheiden, ob in der Nähe des zu untersuchenden Punktes ein Liniensegment liegt, kann man einerseits den Wert für die maximale Hauptkrümmung κ_{\max} und andererseits das Verhältnis zwischen minimaler und maximaler Hauptkrümmung $\kappa_{\min}/\kappa_{\max}$ untersuchen. Ein großer Wert für κ_{\max} weist auf eine signifikante Krümmung der Quadrik bzw. der lokalen Oberfläche hin während das Verhältnis zwischen κ_{\min} und κ_{\max} ein Maß für die „Linienhaftigkeit“ (großer Unterschied zwischen den beiden Werten: linienhafte Struktur, ähnliche Größenordnung beider Werte: Paraboloid) darstellt. Neben den Krümmungswerten ermöglicht die Hauptachsentransformation auch noch die Bestimmung der Krümmungsrichtungen und die Position des Symmetriepunktes, der zur lokalen Verbesserung der Position des Liniensegmentes genutzt werden kann. Als Ergebnis dieses Prozesses steht der jeweilige Symmetriepunkt und die lokale Strukturlinienrichtung (zu κ_{\min} zugehörige Krümmungsrichtung) in Form eines Liniensegmentes zur Verfügung.

Die softwaremäßige Umsetzung dieser Methode erfolgte im Kommandozeilenprogramm STREXdetector. Neben der Angabe der Ein- und Ausgabedateien kann die Methode zur Selektion der Nachbarn (2D Fenster oder n-Nachbarn), die Fenstergröße bzw. die jeweilige Anzahl der benachbarten Punkte, Schwellwerte für das σ_0 der Ausgleichung und der maximalen Krümmung κ_{\max} sowie die Berechnungsmethode (2.5D, 3D oder polar) gewählt werden. Weiters lässt sich steuern ob die Berechnung für jeden oder nur für jeden n-ten Punkt erfolgen soll. Für die interne Verwaltung der Daten kommt ein sogenannter DataManager (vgl. OPALS, 2010) zum Einsatz, der einen besonders effizienten Zugriff auf große Punktmengen und den jeweiligen Nachbarn ermöglicht.

2.2 Modellierung von Strukturlinien

Basierend auf den initialen Strukturliniensegmenten ist es in der Folge notwendig, gesamte Linienzüge zu bestimmen. Dies könnte durch eine Verbindung von Liniensegmenten erfolgen, wobei allerdings berücksichtigt werden müsste, dass nahe einer Position mehrere geringfügig versetzte Segmente mit leicht streuender Segmentrichtung existieren. Zudem kann es durchaus auch passieren, dass stellenweise, z.B. aufgrund lokal zu geringer Punktdichte oder hervorgerufen durch Vegetation, keine Strukturliniensegmente detektiert werden konnten. Um diese Probleme zu umgehen beruht das entwickelte Konzept auf der von BRIESE (2004) vorgestellten Methode zur semi-automatischen Linienbestimmung durch Linienwachsen anhand von robust bestimmten Ebenenpaaren. In diesem Prozess werden, ausgehend von einem initialen Segment, schrittweise in beide Linienrichtungen, anhand der umliegenden ALS Punkte, weitere Linienpunkte bestimmt.

Im Gegensatz zu der semi-automatischen Methode BRIESE (2004) kann mit Hilfe automatisch bestimmten Strukturliniensegmente ein vollautomatischer Prozess ausgehend von den detektierten Liniensegmenten zur Modellierung von Strukturlinien erreicht werden. Beginnend mit dem ersten detektierten Segment erfolgt ein Linienwachsen, solange benutzerspezifizierte Anforderungen (Schnittwinkel der Ebenen, Ausgleichsgenauigkeit, etc.) eingehalten sind. Nach der automatischen Bestimmung der Linie setzt der Prozess der Modellierung mit dem nächsten detektierten Segment fort. Im Gegensatz zu dem semi-automatischen Ansatz, bei dem die Ableitung von mehreren Linien vom Benutzer gesteuert werden kann bzw. muss, ist es im Rahmen der vollautomatischen Abarbeitung (bei dem zwischen Bruch- und Sprunglinien automatisch unterschieden werden kann) notwendig bereits modellierte Strukturlinien zu berücksichtigen, um ein abermaliges Modellieren einer bereits bestimmten Linie zu verhindern. Dieses Problem trifft in der Praxis recht häufig auf, da üblicherweise im Rahmen der Detektion viele Liniensegmente entlang einer Linie bestimmt werden. Im Rahmen der praktischen Implementierung im Kommandozeilenprogramm STREXmodeller wird dieses Problem mit einem räumlichen Index (im speziellen Fall einem R*-Baum) gelöst, der alle bereits bestimmten Linienzüge speichert. Im Rahmen der Prozessierung wird unmittelbar vor jedem neuen (Start)-Liniensegment überprüft, inwiefern in der unmittelbaren Nähe eine Linie bereits modelliert wurde. Diese Überprüfung wird fortlaufend während des Linienwachsens durchgeführt. Mit Hilfe der Detektion aus dem Abschnitt 2.1 und der erweiterten Modellierung der Strukturlinien ist eine großflächige vollautomatische Bestimmung der Linien möglich.

2.3 Überarbeitung der Modellierungsergebnisse

Nach der Analyse der Ergebnisse der vollautomatischen Linienbestimmung gemäß Abschnitt 2.2. konnten einige offene Problembereiche identifiziert werden, die mittels einiger einfacher Regeln automatisch korrigiert werden können. Diese Probleme sind einerseits das Schließen kleiner Löcher zwischen benachbarten Linien mit annähernd parallelem Linienverlauf oder aber auch das Entfernen kurzer Linienzüge, die aufgrund ihrer geringen Länge für die Folgeanwendung keine weitere Relevanz haben. Diese Nachprozessierungsschritte sind in dem Kommandozeilenprogramm STREXpostProcessor implementiert, wobei die lokale Nachbarschaftsanalyse der Linien wiederum mittels eines räumlichen Index gelöst wurde. Dieser zusätzliche Prozessierungsschritt ermöglicht eine signifikante Reduktion der notwendigen manuellen Nachbearbeitung der automatisch generierten Strukturlinien.

3 Anwendungsbeispiele

In diesem Abschnitt werden praktische Ergebnisse der automatischen Linienmodellierung anhand unterschiedlicher Einsatzgebiete basierend auf ALS mit variierender Punktdichte vorgestellt.

3.1 Uferbereich „Main“

Im Rahmen des Projektes „Wasserlauf DGM Main-2“, das am I.P.F. im Auftrag und in Zusammenarbeit mit der Deutschen Bundesanstalt für Gewässerkunde abgewickelt worden ist war eine der Aufgabenstellungen die Extraktion von relevanten Strukturlinien entlang des Flusses Main (BROCKMANN et al., 2010). Der zur Verfügung stehende ALS Datensatz bestand aus 61 Flugstreifen (Streifenüberlappung ~ 50%) und umfasste ein Gebiet der Größe 10km (Ost-West) * 17km (Nord-Süd). Die Punktdichte lag bei ca. 4 letzten Echo Punkten/m². Um eine höchstmögliche Genauigkeit zu erzielen, wurde vor der Strukturlinienbestimmung eine Fein-Georeferenzierung aller Flugstreifen durchgeführt (Ressl et al., 2009). Nach der Fein-Georeferenzierung wurden die im Abschnitt 2 vorgestellten Methoden zur Bestimmung von Strukturlinien angewandt. Insgesamt wurden ca. 12000 Linien mit einer Gesamtlänge von mehr als 500km vollautomatisch berechnet. Das Ergebnis der Detektion von Liniensegmenten und das Ergebnis der anschließenden vollautomatischen Modellierung der Linien für einen kleinen Ausschnitt des Projektgebietes sind der Abbildung 1 zu entnehmen. Für die anschließende hydraulische Modellierung wurden die Linien visuell kontrolliert und gegebenenfalls nachbearbeitet. Weitere Details sind auch der Publikation BROCKMANN et al. (2010) zu entnehmen.

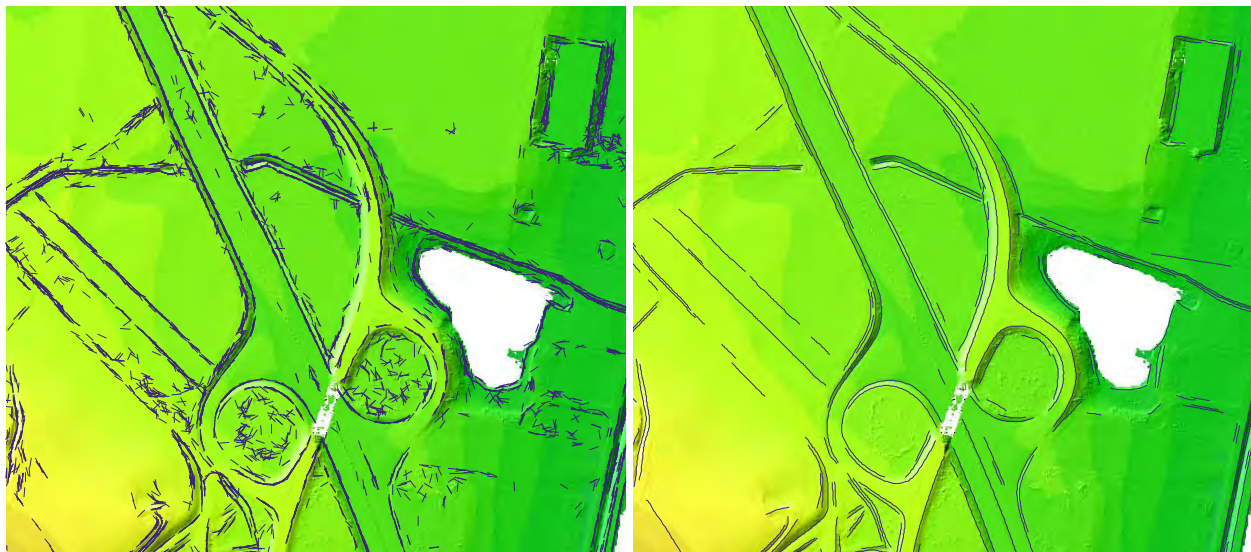


Abb. 1: Automatische Strukturlinienextraktion; Links: Automatisch detektierte Liniensegmente; Rechts: Vollautomatisch modellierte Strukturlinien; Im Hintergrund ist jeweils die Höhenkodierung des DGM visualisiert; Ausschnitt: ca. 550m*480m.

3.2 Städtisches Gebiet

Das gesamte Wiener Stadtgebiet wurde Ende 2006/Anfang 2007 von der Fa. Diamond Airborne Sensing mit einem Riegler full-waveform Scanner LMS-Q560 mit einer Punktdichte größer als 20

letzte Echo Punkte/m² erfasst. Die Überlappung der Flugstreifen betrug mehr als 50%. Auch im Rahmen dieses Projektes wurde eine Fein-Georeferenzierung der ALS-Daten (in diesem Fall mit der Software RiPROCESS der Fa. Riegler) durchgeführt. Die vorgestellte Methode zur Strukturlinienmodellierung wurde auch anhand dieses hochauflösenden Datensatzes unter Verwendung aller letzten Echo Punkte erprobt. Die Ergebnisse wurden vorhandenen photogrammetrisch und terrestrisch bestimmten Strukturlinien der Stadtvermessung Wien (MA41) gegenübergestellt. Das Ergebnis dieser Gegenüberstellung ist in Abbildung 2 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass ein Großteil der relevanten Strukturlinien anhand der ALS Daten bestimmt werden konnte. Als fehlend können v.a. Situationslinien, die sich kaum als geländeverlaufsrelevant herausstellen, und Linien unter Brücken identifiziert werden. Ein Genauigkeitsvergleich ausgewählter Linien (Abstand der jeweiligen Lotfußpunkte) ergab eine Standardabweichung der 3D Differenzen von $\pm 0.28\text{m}$ und eine mittlere 3D Differenz von 0.53m . Die doch relativ niedrige Standardabweichung gibt ein Maß für die Streuung der automatischen Linienpunkte um die Referenzlinien an, während die doch relativ große mittlere Differenz auf systematische Unterschiede hindeutet. Diese systematischen Differenzen beinhalten neben unterschiedlichen lokalen Liniendefinitionen (aufgrund der visuellen Analyse die Hauptursache) auch Fehlereinflüsse, die auf Restdiskrepanzen der Georeferenzierung der beiden Datensätze hindeuten.

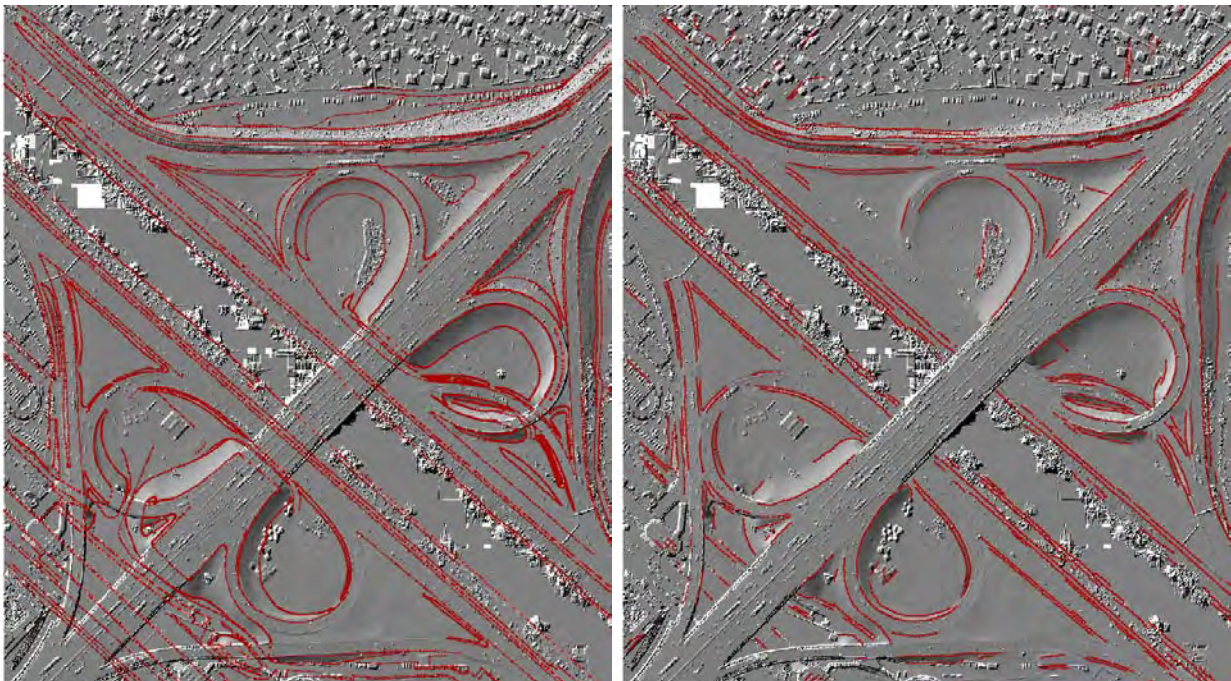


Abb. 2: Automatische Strukturlinienextraktion anhand eines sehr dichten ALS Datensatzes der Stadt Wien im Bereich eines Autobahnknotens verglichen mit einem Referenzdatensatz; Links: Photogrammetrisch und terrestrische Referenzdaten der Stadt Wien (Stadtvermessung, MA 41); Rechts: Vollautomatisch modellierte Strukturlinien; Ausschnitt: ca. 510m*558m.

3.3 Alpines Gebiet

Im Rahmen eines Projektes mit dem österreichischen Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) wurde anhand von ALS Daten des Landes Vorarlberg (Punktdichte ca. 1 letzter Echo Punkt/m²) die automatische Ableitung von Strukturlinien auch im alpinen

Gelände getestet. Neben der vollautomatischen Ableitung aus ALS Daten wurde auch eine semi-automatische Bestimmung anhand der vorhandenen BEV Linien als Start-Liniensegmente untersucht. Die Ergebnisse der Linienmodellierung wurden mit den manuell erfassten Strukturlinien des österreichweiten DGM (10m Gitter mit Strukturlinien) des Bundesamts für Eich- und Vermessungswesen verglichen. Eine Gegenüberstellung der semi-automatisch bestimmten Linien mit den photogrammetrischen Linien des BEV ist der Abbildung 3 zu entnehmen. Beim Versuch, aus den ALS Daten des alpinen Gebietes vollautomatisch Strukturlinien abzuleiten, stellte sich heraus, dass eine Vielzahl von teilweise sehr kurzen Linien bestimmt wurde. Die Summe der Linien ergab zwar ein ähnliches Bild wie das der BEV Linien, allerdings gab es kaum längere Linienzüge, da die Detailliertheit der ALS Daten in dem stark bewegten felsigen Gebiet eine generalisiertere Modellierung verhinderte (weitere Untersuchungen: siehe Abschnitt 4).

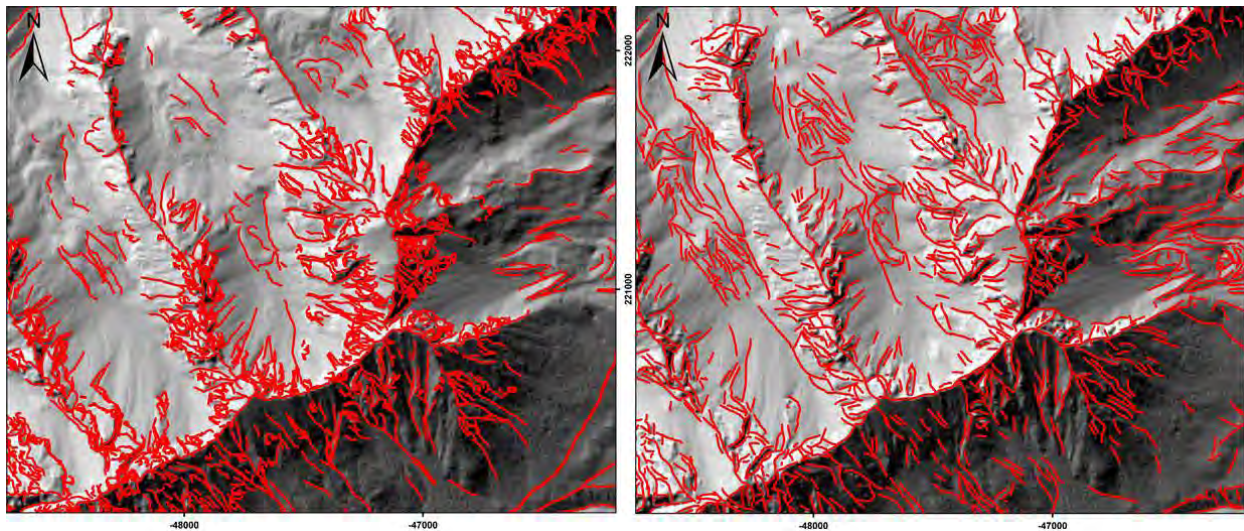


Abb. 3: Semi-automatische Strukturlinienextraktion im alpinen Gebiet; Links: Photogrammetrische Referenzdaten des BEV; Rechts: Semi-automatisch modellierte Strukturlinien.

4 Maßstabsabhängige Modellierung von Strukturlinien

Um in dem im Abschnitt 3.3. vorgestellten alpinen Gebiet eine vollautomatische mit dem BEV-Datensatz vergleichbare generalisierte Liniendarstellung zu erhalten, wurde die maßstabsabhängige Modellierung von Strukturlinien untersucht. Durch Ausdünnung der ALS Daten wurde versucht, eine stärker generalisierte Oberflächenbeschreibung als Eingangsdatensatz für die vollautomatische Liniensextraktion bereitzustellen (Datenpyramide). Die Ausdünnung der ALS Daten erfolgte mittels eines regelmäßigen Rasters, wobei in jeder Rasterzelle nur ein ALS Punkt akzeptiert wurde (in diesem Fall jener Punkt, der der Rasterzellenmitte am nächsten lag). Mit Hilfe dieses Prozesses wurden ein 5m und 10m ALS Datenpyramidenlevel generiert. Anhand dieser beiden Datensätze wurde der Prozess zur vollautomatischen Strukturlinienmodellierung angewendet. Die Ergebnisse für den bereits in der Abbildung 3 visualisierten Bereich sind der Abbildung 4 (etwas größerer Bereich) zu entnehmen. Es zeigte sich, dass durch die Datenpyramiden eine mehr oder weniger starke Generalisierung der Linien erreicht wurde. Während die Linien, die anhand der 5m ALS Punktwolke erstellt

wurden, einen ähnlichen Generalisierungsgrad wie die semi-automatisch bestimmten Strukturlinien aufweisen, führt die stärkere Generalisierung der 10m Daten zu deutlich stärker generalisierten Linienverläufen. Es zeigt sich, dass durch entsprechende Ausdünnung der Oberflächenpunkte, die Generalisierung der automatisch generierten Strukturlinien der manuellen Auswertung, die einen bestimmten Zielmaßstab dienen soll, angenähert werden kann.

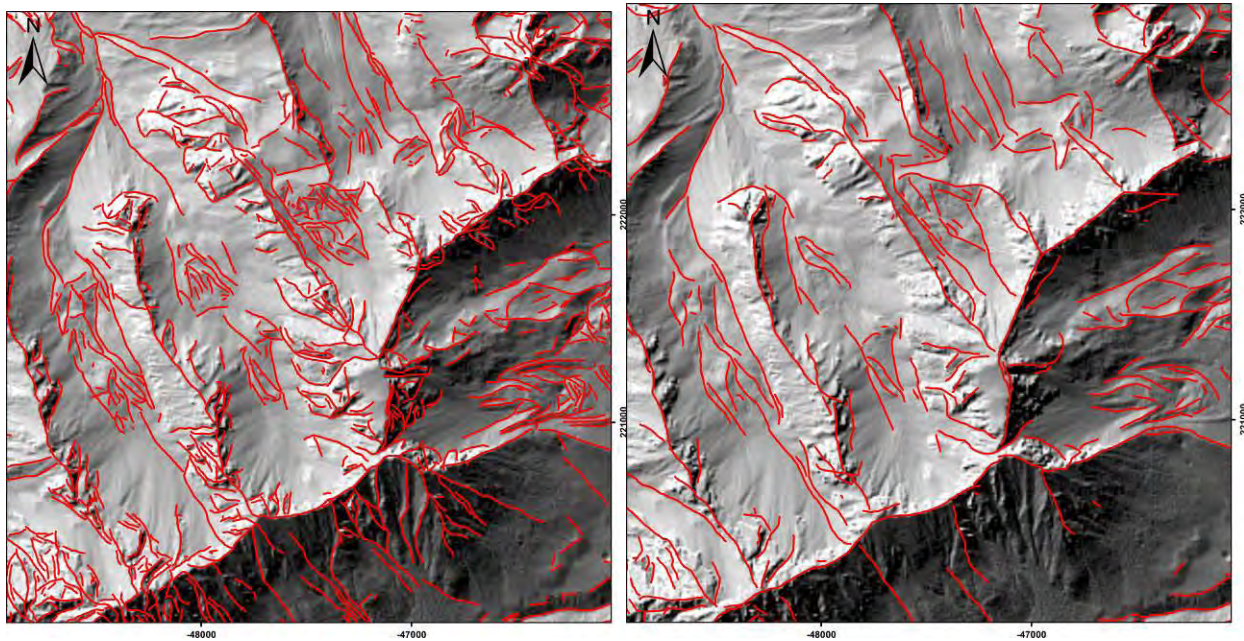


Abb. 4: Vollautomatische Strukturlinienextraktion im alpinen Gebiet anhand von unterschiedlichen ALS Datenpyramiden; Links: Ausdünnung der ALS Punkte anhand eines 5m Rasters; Rechts: Ausdünnung der ALS Punkte anhand eines 10m Rasters.

5 Zusammenfassung

Die Publikation stellt ein vollautomatisches Verfahren zur Strukturlinienmodellierung aus (ALS) Punktwolken vor. Durch praktische Beispiele wird weiters die großflächige praktische Anwendbarkeit der Methoden demonstriert. Ein jeweiliger Vergleich mit unabhängigen Referenzdaten ermöglicht eine Validierung der automatischen Ergebnisse, wemgleich auch die jeweilige Aktualität der Daten, der Zweck der Daten und die Datenerfassungsmethode (terrestrisch vs. luftgestützt) berücksichtigt werden muss.

Mit dem vollautomatischen Ansatz ist eine objektive Möglichkeit (anhand geometrischer Kriterien) zur Bestimmung von Linieninformationen gegeben, und die Auswahl der relevanten Linien obliegt nicht mehr nur dem jeweiligen Auswerter. Für eine praktische Nutzung der automatischen Ergebnisse ist eine manuelle Validierung und eine eventuelle Ergänzung oder Korrektur unerlässlich. Vor allem stellt die noch nicht gelöste Bestimmung der Linientopologie (im Moment wird jede Linie einzeln behandelt) eine interessante Forschungsfrage für die Zukunft dar.

6 Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei der Deutschen Bundesanstalt für Gewässerkunde, der Stadtvermessung Wien, dem Österreichischen Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen und dem Landesvermessungsamt Vorarlberg für die Bereitstellung der ALS Daten sowie der Referenzdaten.

7 Literaturverzeichnis

- AXELSSON, P., 1999: Processing of laser scanner data - algorithms and applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 54, S. 138–147.
- BRIESE, C. & PFEIFER, N., 2008: Line based reconstruction from terrestrial laser scanning data. *Journal of Applied Geodesy* 2(2), S. 85–95.
- BRIESE, C., 2004: Three-dimensional modelling of breaklines from airborne laser scanner data. In: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXV, B3, Istanbul, Turkey.
- BRIESE, C., 2010: Extraction of Digital Terrain Models. In: *Airborne and Terrestrial Laser Scanning*, Whittles Publishing, ISBN: 978-1904445876, S. 135-167.
- BROCKMANN, H., HAASE, A., MANDLBURGER, G. & SCHRÖDER, M., 2010: LIDAR-Datenpotenziale für hydrodynamisch-numerische Modelluntersuchungen, 3-Ländertagung 2010 der DGPF, OVG und SGPBF in Wien, in press.
- BRÜGELMANN, R., 2000: Automatic breakline detection from airborne laser range data. In: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, XXXIII, B3, Amsterdam, Netherlands, S. 109–115.
- GOMES-PEREIRA, L. & WICHERSON, R., 1999: Suitability of laser data for deriving geographical information – a case study in the context of management of fluvial zones. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 54, S. 105–114.
- OPALS, 2010: URL: <http://www.ipf.tuwien.ac.at/opals/>. Programmsystem OPALS (Orientation and Processing of Airborne Laser Scanning data), [Stand: 2010-06-02]
- RESSL, C., MANDLBURGER, G. & PFEIFER, N. 2009: Investigating Adjustment Of Airborne Laser Scanning Strips Without Usage Of GNSS/IMU Trajectory Data, In: "ISPRS Workshop Laserscanning '09", IAPRS, Vol. XXXVIII, Part 3/W8, ISSN: 1682-1750; S. 195 - 200.
- SITHOLE, G. & VOSSELMAN, G., 2004: Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 59(3-4), S. 202–224.
- SUI, L., 2002: Processing of laser scanner data and automatic extraction of structure lines. In: *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information SCIENCES*, VOL. XXXIV (PART 2), S. 429–435.
- WEHR, A. & DUZELOVIC, H., 2009: Bruchkantendetektion mit hochaufgelösten Laserscannerdaten, *Vermessung & Geoinformation* 4/2009, S. 408 – 415.