



UvA-DARE (Digital Academic Repository)

Modeling alpine geomorphology using laser altimetry data

Anders, N.S.

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Anders, N. S. (2013). *Modeling alpine geomorphology using laser altimetry data.*

General rights

It is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

Disclaimer/Complaints regulations

If you believe that digital publication of certain material infringes any of your rights or (privacy) interests, please let the Library know, stating your reasons. In case of a legitimate complaint, the Library will make the material inaccessible and/or remove it from the website. Please Ask the Library: <https://uba.uva.nl/en/contact>, or a letter to: Library of the University of Amsterdam, Secretariat, Singel 425, 1012 WP Amsterdam, The Netherlands. You will be contacted as soon as possible.

Zusammenfassung

Jüngste Entwicklungen in der Technologie von Datenerfassung und -verarbeitung haben zu neuen Möglichkeiten in der geomorphologischen Forschung geführt. Allerdings sind viele etablierte Analyseverfahren nicht entworfen für die hohen und noch steigenden Details der modernen Daten-Sets. In diesem Zusammenhang ist das Ziel dieser Dissertation, neue Methoden für die Anwendung der hoch aufgelösten topografischen Daten, hier insbesondere ‘Light Detection And Ranging (LiDAR) Data’, für geomorphologische Kartierung und dynamische Modellierung der Evolution von Landschaften in einem komplexen Berggebiet (Vorarlberg, West-Österreich) zu entwickeln. Ein wesentlicher Aspekt ist die starke Wechselwirkung zwischen Expertenwissen und digitalen Analyse-Techniken.

Die ersten Kapitel (2–5) richten sich auf die semi-automatische Extraktion und das Kartierung (Mapping) von geomorphologischen Erscheinungen in Bergregionen von LiDAR-Daten mit ‘Object-Based Image Analysis’, frei übersetzt als ‘objekt-orientierte Bildanalyse’. Die geomorphologischen Erscheinungen schließen eine Auswahl aus eiszeitlichen, fluvialen, Gravitations- und Karst-Erscheinungen ein, die zusammen rund 99% der Fläche abdecken. Das Extraktionsverfahren nutzt verschiedene Gelände-Derivate bzw Parameter der Landoberfläche (LSP, ‘Land Surface Parameters’). Insbesondere Neigungswinkel, topographische Offenheit und relative Höhe wurden erkannt als wertvolle LSPs für die Identifikation, Abgrenzung und Klassifizierung von Landschaftsformen. Neigungswinkel und topographische Offenheit erwiesen sich als nützlich für die Segmentierung, z.B. das formulieren von Objekten (welche sogenannte ‘land elements’, (Landelemente) repräsentieren) durch Aggregation homogener LSP-Gitterzellen. Andere Eigenschaften, wie relative Höhe, stromaufwärtige Gebiete, Länge-/Breite-Verhältnisse von Objekten, Entfernungen zu Flüssen, usw., sind Beispiele für die Klassifizierung von Objekten.

Ein bedeutsamer Nachteil der derzeitigen Methoden, die sich auf OBIA basieren, ist das manuelle Fein-Tuning der Segmentierungsparameter. Objekte bilden die Grundlage für eine Klassifizierung der Landschaftsformen, und ihre genaue Gestaltung ist entscheidend für die Schaffung von qualitativ hochwertigen Karten. Die Erforschung, beschrieben in Kapitel 2, trägt zur Automatisierung der Segmentierung durch die Optimierung der ‘Skalenparameter’ bei. Es sind die Schlüsselparameter, die die Größe von Objekten beeinflussen. Durch die Kombination von Neigungswinkel mit topographischer Offenheit in Falschfarben-Komposit RGB (rot grün blau) wurde die visuelle Interpretation von verschiedenen LSPs möglich und ‘Trainingsproben’ der verschiedenen geomorphologischen Eigenschaften konnten umrissen werden. Die Häufigkeitsverteilungen der Zellenwerte im LSP-Gitter der Trainingsproben wurden mit den Verteilungen der segmentierten Objekte verglichen. Die Unterschiede zwischen den Häufigkeitsverteilungen der Trainingsproben und den Objekten wurden als Maß verwendet, um die Genauigkeit der Segmentierung zu beurteilen und die Werte der Skalenparameter zu optimieren. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Einschätzung der vorgeschlagenen Genauigkeit der Segmentierung wertvoll war für die Evaluierung der Objekte vor der Klassifizierung und dass verschiedene geomorphologischen Erscheinungen auch unterschiedlich optimale Segmentierungsparameter haben. Dies führte dazu, dass Landschaftsform-

abhängige Parameter formuliert wurden die in einem neuen Ansatz des halbautomatischen geomorphologischen Kartierung implementiert wurden unter Verwendung von stratifizierten Klassifizierungen.

In Fortsetzung dieser Entwicklungen wurde die stratifizierte Objekt-basierte Bildanalyse implementiert in einem Protokoll des digitalen geomorphologischen Kartierung in Bergregionen (Kapitel 3). Das Protokoll hat zwei Hauptphasen; nämlich 1) das Sammeln von Felddaten in repräsentativen Gebieten und 2) die Extrapolation der Charakteristiken von geomorphologischen Erscheinungen in der Umgebung unter Benutzung Objekt-basierter digitaler Geländeanalyse. Die erste Phase enthält a) manuell differenzierte Einheiten von Landschaftsformen und digitalisiert diese als Polygone in GIS mit 2D- und 3D-Visualisierung von DTM-abgeleiteten Geländemerkmale in Kombination mit (multi-temporalen) orthorektifizierten Luftaufnahmen, und b) Feld-Validierung dieser digitalisierten Erscheinungen um eine digitale geomorphologische Karte der repräsentativen Gebiete herzustellen. Die zweite Phase besteht aus vier Schritten; a) Bildsegmentierung und Optimierung der Segmentierungsparameter für die verschiedenen geomorphologischen Erscheinungen, b) Klassifizierungsregeln durch Histogramm-Analyse unter Verwendung repräsentativer Polygone, c) Extraktion stratifizierter geomorphologischer Erscheinungen und d) Validierung der Klassifizierungsergebnisse. Wir haben das Protokoll demonstriert durch semi-automatische Extraktion von 11 wohl-definierten geomorphologischen Erscheinungen im Maßstab 1:10.000 im Untersuchungsgebiet in der Nähe von Lech, Vorarlberg. Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass man auch mit einer eingeschränkten Feld-Untersuchung durchaus schnell eine digitale geomorphologische Karte eines großen Gebietes in einer dynamischen Bergregion erstellen kann. Die Transparenz und Reproduzierbarkeit des Protokolls ermöglicht den Einsatz in ähnlichen Bergregionen und, möglicherweise, auch in anderen Umgebungen.

In Kapitel 4 wurde das Protokoll angewandt um semi-automatisch den 'Geo-Wert', oder Geokonservierungspotenzials, in Lech, Vorarlberg, zu beurteilen. Das Protokoll wurde ergänzt mit ausgeprägter Feldanalyse und manuellem Kartierung sodass eine hohe Genauigkeit der Karten gewährleistet werden kann. Als Ergebnis wurde eine Hybrid-Karte konstruiert, die als Grundlage für die Beurteilung des Geokonservierungspotenzials benutzt wurde. Jedes Polygon wurde systematisch mit Gewichtung und Ranking-Kriterien in Bezug auf 'wissenschaftlich Relevanz', 'Häufigkeit des Auftretens' und 'ökologische Verwundbarkeit' evaluiert, um damit einen möglichen Geokonservierungspotenzial zu bestimmen. Insgesamt wurden mehr als 15.000 geomorphologischen Erscheinungen in ca. 9 km² kartiert und analysiert, von denen jeweils 1349 (606 ha) und 1222 (290 ha) Erscheinungen identifiziert wurden mit mittlerer und hoher Signifikanz. Hybrides Kartierungen stellte sich als ein nützliches Werkzeug dar für effiziente geomorphologische Kartierung, und es beschleunigt die angewandte Forschung.

Das Protokoll von Kapitel 3 wurde auch angewandt für einen multi-temporalen Datensatz um das Verfahren zum Nachweis und zur Quantifizierung geomorphologischen Veränderungen zu testen (Kapitel 5). In unserem Test-Gebiet auf einem Berghang im Gargellental in West-Österreich, wurden Punktdaten von zwei Luft-LiDAR-Aktionen 2003 und 2011 gefiltert und interpoliert in zwei 2 m DTMs. Sieben verschiedene geomorphologischen Erscheinungen wurden abgebildet mit dem erwähnten Protokoll. Segmentierungsparameter und Klassifizierungsregeln wurden angewandt auf beide Datensätze, sodass potenzielle Veränderungen des geomorphologischen Funktionierens eines Gebietes visualisiert werden können. Auch die volumetrischen Veränderung, abgeleitet von den subtrahierten DTMs, wurde zwischen den geomorphologischen Kategorien berechnet. Die multi-temporalen Klassifizierungen der Landschaftsformen zeigen die Entwicklung dieser Landschaftsformen und deren verwandte geomorphologische Aktivität. Obwohl es ein wertvolles Werkzeug war, verhinderten die Differenzen in Punktdichte und fehlende Datenpunkte unter stark bewaldeten Gebieten die genaue Entdeckung von geomorphologischen Änderungen. Wir empfehlen die Verwendung von Datensätzen mit ähnlichen Punktdichten in geringer bewaldeten Gebieten, einschließlich

einer Bewertung räumlicher DTM Fehlerverteilung, um damit die Ergebnisse von Veränderungen validieren zu können.

Während Karten Modelle sind, die die geomorphologischen Einstellungen eines Gebietes als Momentaufnahme beschreiben, sind dynamische Simulationsmodelle wertvolle Werkzeuge zur Erhöhung des Verständnisses der geomorphologischen Prozesse und deren Auswirkungen auf die Umwelt im Laufe der Zeit. Viele etablierte Simulationsmodelle sind nicht für die immense Datenmenge konzipiert, die in LiDAR gespeichert ist. Also ist Datenreduktion auf Kosten der Größe des Untersuchungsgebietes oder ihrer Einzelheiten erforderlich. Bei einigen Gelegenheiten jedoch würde man sowohl eine hohe räumliche Detaillierung als auch ein großes Untersuchungsgebiet benötigen. In Kapitel 6 wurde ein Landschaftsevolutions-Modell in zwei geomorphologische Modelle entkoppelt mit zwei verschiedenen Modellstrategien und Skalen, die aber zu spezifischen Momenten in der Zeit interagieren. Das erste Modell war ein Vektor-Kanal-Einschnitt (CIM, channel incision model), welches 1 m LiDAR-Daten für die Simulation von longitudinaler Profilentwicklung verwendet. Das CIM wurde mit einem Rastermodell einer Zellen-basierten Hang-Erosion kombiniert, um die Reaktion des Hangs auf einschneidende Flüsse mit Grundgestein in einer Simulation der landschaftlichen Evolution zu integrieren. Das kombinierte Simulationsmodell wurde in einem geologisch vielfältigen alpinen Einzugsgebiet angewendet um landschaftliche Entwicklungen ausgehend von rekonstruierten spätglazialen Bedingungen bis hin zur heutigen Situation zu simulieren. Das Modell ist zeit-effizient und passt sich realistisch an bei kontrastierenden geologischen Substraten, während räumliche und zeitlich variable Einschnittswerte, Knick-Punkt-Rezession und variable Hang-Entwicklung resultieren in einer realistischen Simulation von postglazialer Landschaftsentwicklung. Es wurde festgestellt, dass hochauflösende Höhendaten, in Kombination mit dynamischen geomorphologischen Simulationsmodellen, die Erforschung von komplexem und schwer zugänglichem alpinem Gelände in größerer Detaillierung als vorher ermöglichen.

Die Dynamik und die Ergebnisse der Modelle werden meist auf Basis einer Interpretation topographischer Veränderungen über eine digitale Oberfläche oder Kanalprofile evaluiert. Geomorphometrische Analyse und die Klassifizierung von Landschaftsformen sind andererseits wertvolle Werkzeuge für die automatisierte Identifikation und Charakterisierung von geomorphologischen Erscheinungen zu einem bestimmten Zeitpunkt. In Kapitel 7, welches die Synthese dieser Dissertation aufstellt, werden Klassifizierungen von Landschaftsformen integriert mit dynamischen Landschaftsevolutionsmodellen und werden die Dynamik der Modelle visualisiert und ausgewertet. Ein modulares Erosions-/Sedimentations-Modell wurde eingeführt, um postglaziale Landschaftsentwicklung in einem kleinen alpinen Einzugsgebiet zu simulieren. Dieses Modell besteht aus drei verschiedenen Modulen. Jedes Modul beschreibt verschiedene geomorphologischen Prozesse, d.h. 1) die mechanische Verwitterung von Gestein und die Produktion, Transport und Ablagerung von Schutt durch Steinschlag, 2) fluviale Erosion konvergierender Wasserströme durch Einschnitte in das Grundgestein und 3) Umverteilung von unkonsolidierten Materialien durch oberflächliche Strömungen und Rutschprozesse. Modellergebnisse richten sich auf die Klassifizierung Objekt-basierter Landschaftsformen und sie werden visualisiert um die Dynamik des Modells zu interpretieren. Hier wurden Segmentierungs- und Klassifizierungs-Parameter auf der Grundlage ursprünglicher Festsetzungen von Landschaften entwickelt, sodass individuelle Landschaftsformen identifiziert, extrahiert und in morphogenetische Klassen kategorisiert werden konnten. Die Segmentierungs- und Klassifizierungs-Verfahren wurden angewandt auf in verschiedenen Zeitschritten simulierte landschaftliche Entwicklung. Die sequentielle Klassifizierung von Landschaftsformen zeigte deutlich die Entwicklung der fluvialen Erosionskanäle, welche die mechanische Verwitterung und den Felssturz beschleunigte. Die Klassifizierungen ermöglichte die Analyse der simulierten topographischen Veränderung pro Landschaftsform und offenbarte den Übergang von einem Gletscher in Richtung einer fluvialen Landschaft in quantitativer Weise. Die Klassifizierungen zeigten, dass fluviale Erosion wie eine treibende Kraft wirkt bei der Entwicklung von Landschaften. Es wurde

festgestellt, dass einfache Kriterien für die Klassifizierung von Landschaftsobjekten in funktionale Landschaftsformen einen schnellen, aber detaillierten Überblick über Simulationsergebnisse und Modellverhalten ermöglichen. Mit der Anwendung der Klassifizierung von Landschaftsformen haben wir teilweise die Interpretation automatisiert, die uns die Untersuchung der Veränderung der Funktionsweise einer Landschaft durch eine Simulation zu ermöglichen. Die Integration der Klassifizierung von Landschaftsformen in die Modellierung der Entwicklung von Landschaften eröffnet neue Möglichkeiten für z. B. die Evaluierung komplexer Dynamiken in landschaftlichen Evolutionsmodellen oder der Analyse von Szenario-basierter Landschaftsentwicklung und der spezifischen Evolution von Landschaftsformen.

Diese Dissertation füllt teilweise eine Lücke zwischen der kontinuierlichen Verbesserung der computer-orientierten Infrastruktur und die der erdkundlichen Wissenschaft. Der Ausbau dieser Interaktion ist von größter Bedeutung, um unsere Erkenntnisse über die Funktionsweise der geökologischen Systeme und den Schutz unserer einzigartigen, aber fragilen Umwelt zu erhöhen.