



**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: <http://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.

---

## Samenvatting

---

Nieuwe technologie voor het verkrijgen en verwerken van hoge resolutie topografische data heeft geomorfologisch onderzoek een nieuwe impuls gegeven. Digitale hoogtemodellen worden steeds nauwkeuriger, waarvoor, echter, hedendaagse analysetechnieken niet zijn geoptimaliseerd. Het doel van dit proefschrift is het ontwikkelen en optimaliseren van zulke analysetechnieken waarmee hoge resolutie topografische data (met name ‘Light Detection and Ranging’, LiDAR) gebruikt kunnen worden voor het karteren van alpine geomorfologie en het modelleren van alpine landschapsonwikkeling (in Vorarlberg, West-Oostenrijk). Een belangrijk onderdeel van dit proefschrift is de sterke wisselwerking tussen veldkennis en digitale analysetechnieken.

De eerste hoofdstukken (2–5) richten zich op het semi-automatisch karteren van geomorfologische eenheden in Vorarlberg op basis van ‘object-based image analysis’ (OBIA), vrij vertaald als ‘object georiënteerde beeld analyse’. Deze geomorfologische eenheden zijn onderverdeeld in eenheden die door glaciale, fluviaatiele, massabewegings- en karstprocessen zijn gevormd. De procedure maakt gebruik van specifieke terreinkenmerken, ook wel ‘Land Surface Parameters’ genoemd, die rechtstreeks uit het LiDAR digitale hoogtemodel afgeleid kunnen worden. Vooral hellingshoek, weidsheid (*topographic openness*) en de relatieve hoogte bleken waardevolle terreinkenmerken door digitale geomorfologische analyse. OBIA bestaat uit twee concepten: 1) segmenteren en 2) classificeren. Segmenteren is het groeperen van rastercellen (in dit geval op basis van de terreinkenmerken) zodat objecten ontstaan die de hiervoor genoemde landschapseenheden zo goed mogelijk omgrenzen. Classificeren is het identificeren en labelen van objecten in vooraf gedefinieerde categorieën. Vooral hellingshoek en weidsheid bleken goede kenmerken voor het segmenteren. Relatieve hoogte, ‘gemiddelde oppervlakte van bovenstrooms gebied’, en objectkenmerken ‘lengte-breedte verhouding’, ‘afstand tot een rivier of stroom’, etc., zijn voorbeelden van criteria die voor het classificeren zijn gebruikt.

Een van de nadelen van OBIA is dat men handmatig segmentatie parameters moet instellen en optimaliseren. Objecten vormen de basis van elke classificatie, en daarom is een nauwkeurige formatie van objecten cruciaal voor het verkrijgen van goede classificaties en kaarten. Hoofdstuk 2 beschrijft het automatiseren van de parameter optimalisatie. Ook wordt hier beschreven hoe de terreinkenmerken hellingshoek en weidsheid worden gecombineerd in zogenaamde rood-groen-blauw kleurencomposieten. Dit maakte het mogelijk om landschapsvormen handmatig te identificeren op basis van de LiDAR data en deze te begrenzen om zo ‘trainingseenheden’ te definiëren. De eigenschappen van terreinkenmerken binnen de trainingseenheden kunnen zo vergeleken worden met de kenmerken van de automatisch verkregen objecten. Het verschil tussen de frequentieverdeling van helling en weidsheid binnen de trainingseenheden en automatisch verkregen objecten zijn gebruikt als maat voor segmentatie (on)nauwkeurigheid en staat als basis van de segmentatie parameter optimalisatie. De resultaten tonen aan dat verschillende geomorfologische eenheden verschillende optimale segmentatie parameters hebben. Dit heeft de implicatie dat een object-georiënteerde landschapsclassificatie niet in 1x in zijn geheel uitgevoerd kan worden, maar dat geomorfologische eenheden gestratificeerd geïdentificeerd moeten worden.

In het verlengde van de resultaten van Hoofdstuk 2 is ‘gestartificeerde object-georiënteerde beeld analyse’ verwerkt in een protocol voor digitaal geomorfologisch karteren, toegepast in bergachtig gebied (Hoofdstuk 3). Het protocol bestaat uit 2 fases: 1) het verzamelen van veldgegevens in representatieve gebieden en 2) het extrapoleren van karakteristieken van geomorfologische eenheden naar omliggende gebieden m.b.v. OBIA en digitale terrein analyse. De eerste fase bestaat uit a) het handmatig definiëren van geomorfologische eenheden en het digitaliseren in de vorm van polygonen m.b.v. 2D en 3D visualizaties van LiDAR data en (multi-temporele) georthorectificeerde luchtfoto’s en b) veldvalidatie van gedigitaliseerde eenheden voor het verkrijgen van digitale geomorfologische kaarten van representatieve gebieden. De tweede fase bestaat uit 4 stappen: a) segmentatie en optimalisatie van segmentatie parameters van de verschillende geomorfologische eenheden; b) het ontwikkelen van classificatieregels m.b.v. analyse van histogrammen van de representatieve polygonen; c) gestratificeerde classificatie van de geomorfologische eenheden, d) validatie van de classificatieresultaten. In Hoofdstuk 3 demonstreren we het protocol door het semi-automatisch karteren van 11 verschillende landschapsvormen in Lech, Vorarlberg, op de schaal die vergelijkbaar is met 1:10,000. De resultaten laten zien dat het goed mogelijk is om met een beperkte veldwerkcampagne snel een goede digitale geomorfologische kaart te maken in een groot en complex gebergte. De transparantie en reproduceerbaarheid maakt het mogelijk het protocol te gebruiken in vergelijkbare, maar mogelijk ook andere, gebieden.

In Hoofdstuk 4 is het protocol voor digitaal geomorfologisch karteren gebruikt voor het semi-automatisch beoordelen van ‘geowaarde’ in Lech, Vorarlberg. Geowaarde dient als indicatie om landschapsvormen of regio’s te beschermen omwille van hun abiotische waarde in het landschap. De automatisch verkregen kaart was aangevuld met handmatig verkregen kaarten zodat een hoge kwaliteit van de kaarten in speciale gebieden gegarandeerd kon worden. Dit resulteerde in een hybride kaart die als basis diende voor het beoordelen van geowaarde. Elke polygoon werd systematisch getoetst met criteria die gerelateerd zijn met ‘wetenschappelijke relevantie’, ‘zeldzaamheid’ en ‘landschappelijke kwetsbaarheid’. De drie criteria zorgden samen voor een ‘geowaarde score’. In totaal zijn meer dan 15,000 geomorfologische eenheden in ongeveer 9 km<sup>2</sup> gekarteerd en geanalyseerd, waarvan 1349 (606 ha) en 1222 (290 ha) eenheden zijn geïdentificeerd als ‘waardevol’ en ‘zeer waardevol’. Hybride karteringen, waar handmatige kartering wordt aangevuld met semi-automatische classificaties, is een handige tool bevonden voor het efficiënt karteren van geomorfologische eenheden in een landschap, en draagt bij tot gerelateerd toegepast onderzoek.

Het protocol van Hoofdstuk 3 is ook getest met een multi-temporele data set voor het detecteren en kwantificeren van geomorfologische verandering (Hoofdstuk 5). In het testgebied op een geomorfologisch actieve helling in de Gargellen vallei in het westen van Oostenrijk zijn twee LiDAR data sets gebruikt uit 2003 en 2011. Beide data sets zijn gefilterd en geïnterpoleerd tot twee 2 m digitale terrein modellen. Zeven geomorfologische eenheden zijn gekarteerd aan de hand van beide data sets met eerdergenoemde protocol. Segmentatie en classificatieregels zijn opgesteld met de eerste data set, en toegepast op beide data sets zodat de potentiële verandering van landschapsvormen en het functioneren van deze vormen in kaart kon worden gebracht. Volumetrische veranderingen binnen de verschillende geomorfologische eenheden konden worden uitgerekend uit het verschil van beide data sets. De multi-temporele landschapsclassificaties laten de ontwikkeling zien van landschapsvormen en hun gerelateerde geomorfologische proces(sen). De methodiek is veelbelovend, hoewel er met een aantal fundamentele problemen rekening gehouden moet worden. Bijvoorbeeld, het verschil in punt dichtheid van de LiDAR data sets en gebrek aan punten onder dichtbeboste gebieden hinderde nauwkeurige berekeningen van geomorfologische verandering. Daarnaast dient de nauwkeurigheid van de verwerkte LiDAR data te worden onderzocht om de verkregen resultaten te valideren.

Geomorfologische kaarten kunnen worden gezien als modellen die de geomorfologie van een gebied beschrijven zoals deze bestaat op een bepaald moment in de tijd. In tegenstelling tot

deze kaarten zijn dynamische simulatiemodellen waardevolle technieken voor het analyseren van geomorfologische processen door de tijd heen en hun impact op de omgeving in verschillende scenario's. Veel van de huidige modellen zijn echter niet geschikt voor het immense detail van wat tegenwoordig mogelijk, en gebruikelijk, is met LiDAR technologie. Om toch gebruik te maken van deze modellen is simplificatie van de data noodzakelijk, of de grootte van het studiegebied moet substantieel worden beperkt. In sommige gevallen is het echter gewenst om een proces met een hoog detail te simuleren binnen een relatief groot studiegebied. Hoofdstuk 6 stapt hier op in en omvat een landschapsevolutiemodel welke onderverdeeld is in submodellen die elk hun eigen proces beschrijven op het gewenste detailniveau. Het eerste model bestaat uit een gevectoriseerd rivierinsijdingsmodel voor het simuleren van het lengteprofielontwikkeling van een rivierennetwerk in één dimensie. Dit insijdingsmodel is gekoppeld aan een tweedimensionaal erosiemodel voor het simuleren van hellingontwikkeling als reactie op het insnijden van rivieren. Beide modellen werken op hun eigen schaalniveau: 1 m detail voor het insijdingsmodel; het erosiemodel gebruikt 50 x 50 m cellen. De modellen vormen samen het landschapsevolutiemodel welke is toegepast op een geologisch divers vanggebied in Oostenrijk, voor het simuleren van landschapontwikkeling vanaf de laatste ijstijd tot nu. Het model rekent efficiënt en resulteert in een realistische reactie van hellingontwikkeling en de onderliggende geologie. Ook terugschrijdende erosie van de rivieren draagt bij tot een realistische simulatie van post-glaciale hellingontwikkeling. De hoge resolutie data, in combinatie met dynamische simulatiemodellen faciliteren nieuw onderzoek van complex en moeilijk bereikbaar terrein met een hoger detail dan eerder mogelijk was.

Model structuur, dynamica en resultaten worden over het algemeen beoordeeld op basis van topografische verandering van een digitaal landschap of via doorsnedes en lengteprofielen van rivieren. Voor het analyseren van digitale landschappen zijn de eerder besproken geomorfometrische analyse en landschapsclassificaties een sleutel voor het automatisch identificeren en karakteriseren van geomorfologie. In Hoofdstuk 7 worden deze landschapsclassificatie toegepast op een dynamisch landschapsevolutiemodel om model resultaten te visualiseren en daarmee het model beter te kunnen begrijpen. Hiervoor is een modulair erosie- en sedimentatiemodel ontwikkeld voor het simuleren van post-glaciale landschapontwikkeling in een klein alpien vanggebied. Het model bestaat uit drie modules welke verschillende geomorfologische processen beschrijven: 1) mechanische verwerking van vast gesteente en de productie, transport en sedimentatie van puin via rock fall; 2) fluviaatiele erosie door convergentie van waterstromen; en 3) herverdeling van los (bodem)materiaal door oppervlakkige vloe- en glijbewegingen. Het model resulteert in een veranderde digitaal hoogtemodellen, welke onderhevig zijn aan object-georiënteerde landschapsclassificaties. De segmentatieparameters en classificatieregels zijn opgesteld op basis van de initiële landschap waarbij landschapsvormen worden geïdentificeerd en gecategoriseerd in morfogenetische groepen. De classificatieprocedure is daarna toegepast op verschillende momenten gedurende de simulatie van landschapontwikkeling. De classificaties laten duidelijk de ontwikkeling zien van fluviaatiele erosiegeulen en insnijdingen welke versneld worden door actieve mechanische verwerking en afbraak van vast gesteente. De classificaties droegen bij aan de analyse van de simulatieresultaten van de individuele geomorfologische eenheden en lieten, op een kwantitatieve manier, een transitie zien van een glaciaal landschap naar een fluviaatiel landschap. Daarnaast maakten de classificaties duidelijk zichtbaar dat fluviaatiele erosie de drijvende kracht was van de gesimuleerde landschapontwikkeling. Relatief eenvoudige criteria, welke met behulp van veldkennis zijn ontwikkeld, maakten het mogelijk om elementen in het landschap te groeperen naar hun geomorfologische functie, om zo het simulatiemodel en de resultaten snel en gedetailleerd te kunnen beoordelen.

Dit proefschrift vult deels een gat tussen het voortdurend verbeteren van computerkracht (en -mogelijkheden) en nieuwe Aardwetenschappelijke kennis. Het verder versterken van de interactie tussen mens en computer is strict noodzakelijk voor het vergroten van onze kennis over het functioneren van geo-ecosystemen and het beschermen van onze unieke maar fragiele wereld.