

Der Einsatz von flugzeuggestützten Laserscanner Daten für geowissenschaftliche Untersuchungen in Gebirgsräumen

THOMAS GEIST, BERNHARD HÖFLE, MARTIN RUTZINGER & JOHANN STÖTTER, Innsbruck

Keywords: airborne laser scanning, glaciology, natural hazard management, change detection

Zusammenfassung: Flugzeuggestütztes Laser-scanning (auch Airborne Laser Scanning oder abgekürzt ALS) ist ein modernes Verfahren zur hoch genauen und hoch auflösenden Erfassung von Oberflächen. Trotz einer stetig steigenden Zahl von neuen Anwendungsfeldern gibt es noch wenig Erfahrung in stark gegliedertem alpinem Gelände. Im Rahmen eines EU-Projektes wurden 14 ALS-Datensätze von Gletschern in Österreich und Norwegen im Hinblick auf glaziologische Anwendungen ausgewertet. Die Ergebnisse zeigen, dass die Qualität der Daten (Höhen- und Lagegenauigkeit sowie Detailerkennbarkeit) den Anforderungen der glaziologischen Praxis gerecht wird. Die Möglichkeit, genaue Informationen auch auf Schnee- und Firnoberflächen zu erhalten, führt zu einem deutlichen Vorteil gegenüber optischen Erfassungsmethoden. In einem Mitte 2004 gestarteten Projekt wird der Einsatz von ALS Daten im alpinen Naturgefahrenmanagement untersucht. Dabei wird die Ableitung von Oberflächeneigenschaften (z. B. Rauigkeit) einen Schwerpunkt darstellen. In einem ersten Schritt wird der Prototyp eines flexiblen Dateninformationssysteme mit Open-Source Komponenten aufgebaut sowie objektorientierte Auswertansätze mit Fernerkundungsmethoden für die kombinierte Analyse von ALS Daten und hoch auflösenden optischen Daten getestet. Mit der steigenden Zahl an verfügbaren Datensätzen in Gebirgsräumen sind zukünftig weitere Fortschritte in Bezug auf Anwendungen in Gebirgsräumen zu erwarten.

Summary: *Use of airborne laser scanner data in alpine environments.* Airborne laser scanning (ALS) is a state-of-the-art technology for obtaining topographic information with high resolution and high accuracy. Though already a wide variety of application fields exists, there is not much experience in high mountain environments. In the EU financed OMEGA project 14 data sets over glaciers in Austria and Norway were recorded and analysed. The results show that the data quality (vertical and horizontal accuracy) meets the requirements for glaciological applications. There is a clear advantage towards methods based on optical data due to the ability to obtain topographic information also in snow-covered areas. A recently started project deals with the utilisation of ALS data in alpine natural hazard management with a focus on determining surface properties (e. g. surface roughness). In the project starting phase the prototype of a management system for ALS data based on Open Source software components is set up and object-oriented analysis methods are tested. With the growing number of ALS data sets in high mountain environments a further development of applications can be expected.

1 Einleitung

Flugzeuggestütztes Laser-scanning ist ein modernes Verfahren zur zeit- und kosteneffektiven, hoch auflösenden (> 1 Mio. Mess-

punkte pro km²) und hochgenauen (Höhen-genauigkeit im Dezimeterbereich) Erfassung von Geländeoberflächen. Auf die Darstellung und Diskussion des Messprinzips wird an dieser Stelle verzichtet; ausführliche

Beschreibungen finden sich an zahlreichen Stellen (z. B. KRAUS 2004). Im deutschen Sprachgebrauch hat sich der englische Begriff *Airborne Laser Scanning* durchgesetzt, sowie die Abkürzung ALS, die im Weiteren verwendet wird. Primäres Resultat von ALS Messungen sind X,Y,Z-Koordinaten für jeden Punkt der gescannten Oberfläche, an dem der Laserstrahl reflektiert wird. Bei den meisten Aufnahmesystemen wird zusätzlich für jeden Koordinatenpunkt die am Empfänger ankommende Intensität des reflektierten Signals gemessen. Als gängiger Verarbeitungsschritt werden aus der Punktwolke Rasterdaten gerechnet.

Der Hauptanwendungsbereich von ALS ist die topographische Geländeaufnahme. Vorteile gegenüber herkömmlichen Verfahren bietet ALS vor allem in bewaldeten Gebieten, da aufgrund der hohen Messdichte genügend Punkte die Vegetationsschicht durchdringen und so eine ausreichende Modellierung sowohl der realen Oberfläche einschließlich natürlicher und künstlicher Objekte (DOM – *Digitales Oberflächenmodell*) als auch der eigentlichen Geländeoberfläche ohne diese Objekte (DGM – *Digitales Geländemodell*) zulassen.

In den letzten zehn Jahren hat sich diese Technologie aus dem experimentellen Stadium zu einem operationell einsetzbaren Verfahren entwickelt, das auch großflächige Gebietskörperschaften (z. B. Baden-Württemberg – GÜTLINGER et al. 2001) als Grundlage für die Erstellung landesweiter digitaler Geländemodelle wählen. Die Möglichkeit der zeitgleichen Erfassung von DOM und DGM in einem Datensatz hat dazu geführt, dass ein wesentlicher Anwendungsschwerpunkt bei forstwissenschaftlichen Fragestellungen zu finden ist (z. B. HYYPPÄ et al. 2004). Daneben gibt es zahlreiche weitere Anwendungsfelder in so unterschiedlichen Bereichen wie Küstenschutz, Stadtplanung, Archäologie, Naturschutz oder Überwachung von Hochspannungsleitungen.

Relativ wenig Erfahrung mit dieser Methode gibt es bisher in stark reliefiertem, alpinem Gelände. Aufgrund der begrenzten Reichweite von Laserscanningsystemen ist

die Möglichkeit der Datenerfassung vor allem in Gebieten mit großen Reliefunterschieden eingeschränkt. Seit kurzer Zeit kann der Einsatz verbesserter Systeme mit größerer Reichweite (> 2000 m) diesen Nachteil abschwächen.

Im Folgenden wird der Einsatz von ALS Daten im Hochgebirge exemplarisch für glaziologische Fragestellungen dargestellt und Ausblick auf ein Projekt gegeben, das den Einsatz von ALS Daten im alpinen Naturgefahrenmanagement zum Ziel hat.

2 Anwendungen von multitemporalen Laserscannerdaten in der Glaziologie

Projektrahmen und Daten

Den Rahmen für die hier vorgestellten Untersuchungen bildet das EU-Projekt OMEGA (Laufzeit 2001–2004), das die Evaluierung des Potenzials verschiedener satelliten- und flugzeuggestützter Fernerkundungsmethoden für operationelles Gletschermonitoring zum Ziel hatte (<http://omega.utu.fi>). Bei der Beobachtung von Gletschern spielen Veränderungen in der Gletschergeometrie und der Massenbilanz eine Schlüsselrolle. Im Rahmen von OMEGA wurden die Anforderungen an topographische Daten für ein operationelles Monitoring von Gletschern mit 0,5 m Höhengenaugigkeit und 2 m Lagegenauigkeit quantifiziert (JACKSON et al. 2002).

Aufgabe des Instituts für Geographie der Universität Innsbruck war die Erstellung und die multitemporale Analyse von DGMs aus ALS Daten. Insgesamt wurden 14 Befliegungskampagnen in den OMEGA-Untersuchungsgebieten durchgeführt, zehn an Hintereisferner und Kesselwandferner (Öztaler Alpen, Österreich) mit einer gescannten Fläche von jeweils 36 km², und vier am Engabreen (Svartisen, Norwegen) mit einer gescannten Fläche von jeweils 62 km².

Datenerfassung und Preprocessing wurden von der Firma TopScan GmbH durchgeführt. Bei der Datenerfassung kamen verschiedene Versionen des Optech ALTM Laserscanners zum Einsatz, die sich durch un-

Tab. 1: Wichtige Systemparameter der im OME-GA Projekt verwendeten Optech Laserscanner.

	ALTM 1225	ALTM 3033	ALTM 2050
Durchschnittliche Flughöhe	900 m	900 m	1150 m
Messfrequenz	25 000 Hz	33 000 Hz	50 000 Hz
Scanfrequenz	25 Hz	29 Hz	30 Hz
Scanwinkel	$\pm 20^\circ$	$\pm 20^\circ$	$\pm 20^\circ$
Geplanter Punktabstand	1,5 m	1,5 m	1,0 m

verschiedliche Messparameter auszeichnen (Tab. 1). Der realisierte durchschnittliche Punktabstand betrug 0,8 m–1,4 m. Für die multitemporale Analyse wurde mit den im Softwarepaket SCOP++ implementierten Algorithmen (BRIESE et al. 2002) aus der vorhandenen Punktmenge für jede Befliegung ein DGM als regelmäßiges Raster mit einer Zellengröße von 1 m gerechnet. Dabei wurden *last pulse* Daten verwendet, eine Klassifikation der Punktwolke in Bodenpunkte und Nicht-Bodenpunkte war nicht notwendig.

Qualität der Digitalen Geländemodelle

Die Qualität einer digitalen Geländerepräsentation hängt grundsätzlich von der Genauigkeit der Methode zur Gewinnung der Stützpunkte, der räumlichen Dichte dieser Punktdaten und schließlich der eingesetzten Interpolationsmethode ab. Im Projekt wurde eine einfache, praxisnahe Abschätzung der Qualität der aus ALS Daten gewonnenen DGMs im Kontext der Verwendung für glaziologische Fragestellungen vorgenommen (GEIST et al. 2004). Folgende Aspekte wurden dabei betrachtet:

- Punktdichte und Punktverteilung
- Höhengenaugigkeit
- Lagegenauigkeit

Punktdichte und Punktverteilung ergeben sich aus dem Abtastwinkel des Scanners ($\pm 20^\circ$), der Messfrequenz, der Flughöhe über Grund, der Fluggeschwindigkeit und

dem Abstand der Fluglinien. Die visuelle Interpretation zeigt eine gleichmäßige Punktverteilung im Bereich von Fels- und Lockermaterialoberflächen, sowie in Bereichen mit Vegetationsbedeckung. Auch auf Eis- und Schneeoberflächen ist die Punktverteilung dicht und gleichmäßig. Lediglich bei Befliegungen im Sommer zeigen sich am Engabreen sowie in einem Fall am Hintereisferner in eng begrenzten Bereichen auf der Gletscherzunge Datenlücken. Diese sind möglicherweise auf das Fehlen von Verunreinigungen im Gletschereis („Blaueis“) und/oder dem Auftreten eines Schmelzwasserfilms zurückzuführen. An diesen Stellen zeigt die Gletscheroberfläche ein ähnliches Reflexionsverhalten wie Wasseroberflächen (Absorption bzw. gerichtete Reflexion und dadurch keine für eine Messung ausreichende Intensität des reflektierten Signals am Sensor).

Die *Höhengenaugigkeit* ist direkt abhängig von der Punktdichte und der Hangneigung (KRAUS 2004). Für die Überprüfung der *Höhengenaugigkeit* wurde im Rahmen des Projekts für Testflächen in der Umgebung (Fußballplätzen) aus tachymetrisch bestimmten Punktkoordinaten eine kontinuierliche Oberfläche gerechnet und der Z-Wert jeder ALS Koordinate mit dem entsprechenden Wert auf dieser Referenzoberfläche verglichen. Diese Testflächen wurden bei jedem Messflug überflogen und gescannt. Das Resultat auf der Testfläche in Norwegen zeigt, dass > 99 % aller verglichenen Punkte (Punktzahl jeweils > 2500) im Wertebereich $\Delta Z = \pm 0,3$ m liegen (GEIST et al., im Druck). Zusätzlich wurden am Engabreen während zwei Befliegungen zeitgleich differentielle GPS-Messungen auf dem Gletscher durchgeführt (insgesamt 5955 bzw. 4761 Punkte) und die Z-Koordinate jeder Messung mit dem entsprechenden Wert im ALS DGM verglichen. Das Resultat zeigt, dass auch in diesem Fall > 99 % aller verglichenen Punkte im Wertebereich $\Delta Z = \pm 0,3$ m liegen (GEIST et al., im Druck).

Eine anschauliche Möglichkeit zur Bewertung der *Lagegenauigkeit* ist der Vergleich mit klar abgegrenzten Objekten.

Nachdem ein Schwerpunkt der fachlichen Datenanalyse auf dem Erkennen und Quantifizieren von Veränderungen im vergletscherten Bereich liegt, ist die relative Lagegenauigkeit der multitemporal zu betrachtenden Datensätze von besonderer Bedeutung. In den Untersuchungsgebieten können zu diesem Zweck Gebäude (z. B. Alpenvereins-hütten) untersucht werden. Für die Gebäude wird in jedem DGM der Umriss über das Isohypsenbild (Isohypsenintervall 0,5 m) abgeleitet. Durch den Vergleich von auf diese Weise abgeleiteten Gebäudeumrissen kann im österreichischen Untersuchungsgebiet eine relative Lagegenauigkeit auf ca. 1 m quantifiziert werden (GEIST et al. 2004).

Beispiele aus der Datenanalyse

Ein Beispiel für das Potenzial der ALS Daten hinsichtlich Detailerkennbarkeit und somit geomorphologischer und glaziologi-

scher Interpretationsmöglichkeit bietet der in Abb. 1 dargestellte Ausschnitt aus dem österreichischen Untersuchungsgebiet. Aufgrund der hohen Stützpunktdichte für die Interpolation wird die Topographie weitaus besser abgebildet als mit herkömmlichen Verfahren zur Geländeaufnahme. Selbst Details wie Gletscherspalten verschiedener Größe oder einzelne Eis- und Felsblöcke werden erfasst. Die unterschiedliche Rauigkeit von Eis-, Fels- und Lockermaterialoberflächen drückt sich in der Visualisierung des DGM optisch aus und lässt eine zuverlässige Ableitung von Gletschergrenzen zu.

Über die multitemporale Quantifizierung von Flächen- und Höhenänderungen (Abb. 2 und Abb. 3) lassen sich Volumenänderungen berechnen und – unter Berücksichtigung von Materialdichte und eisdynamischen Prozessen – Massenänderungen ableiten (GEIST et al., im Druck).

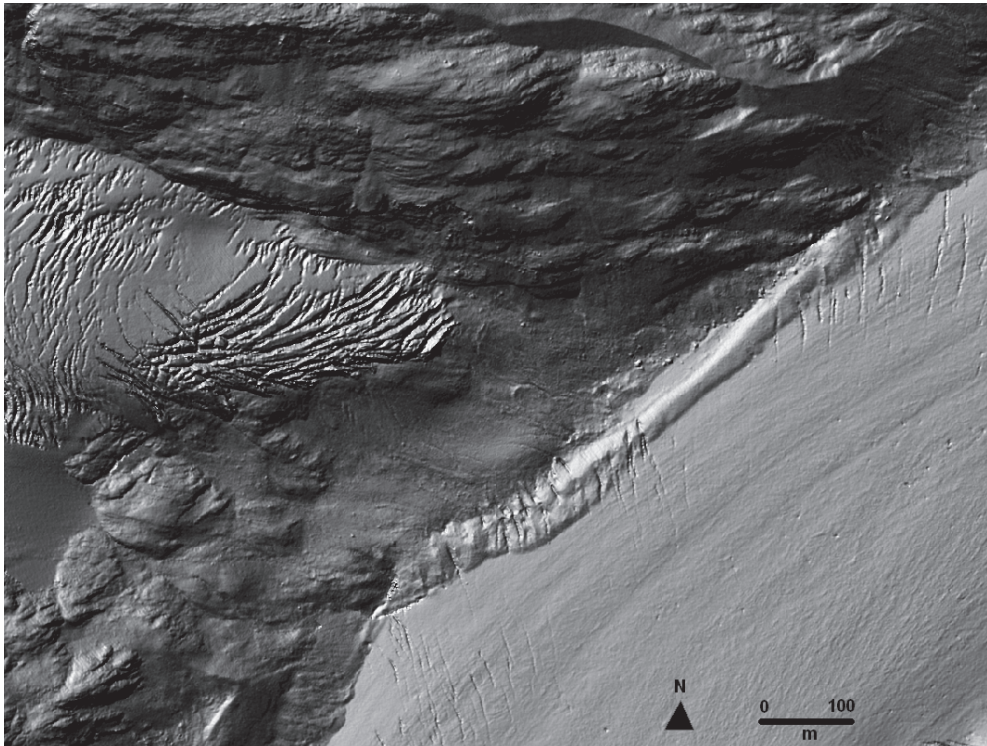


Abb. 1: Konfluenzbereich von Hintereisferner (rechts) und Langtaufereerjochferner (links). Beide Gletscher waren noch bis in die zweite Hälfte der 1990er Jahre miteinander verbunden. Dargestellt ist ein *Hillshade* eines ALS DGMs (Zellgröße 1 m).

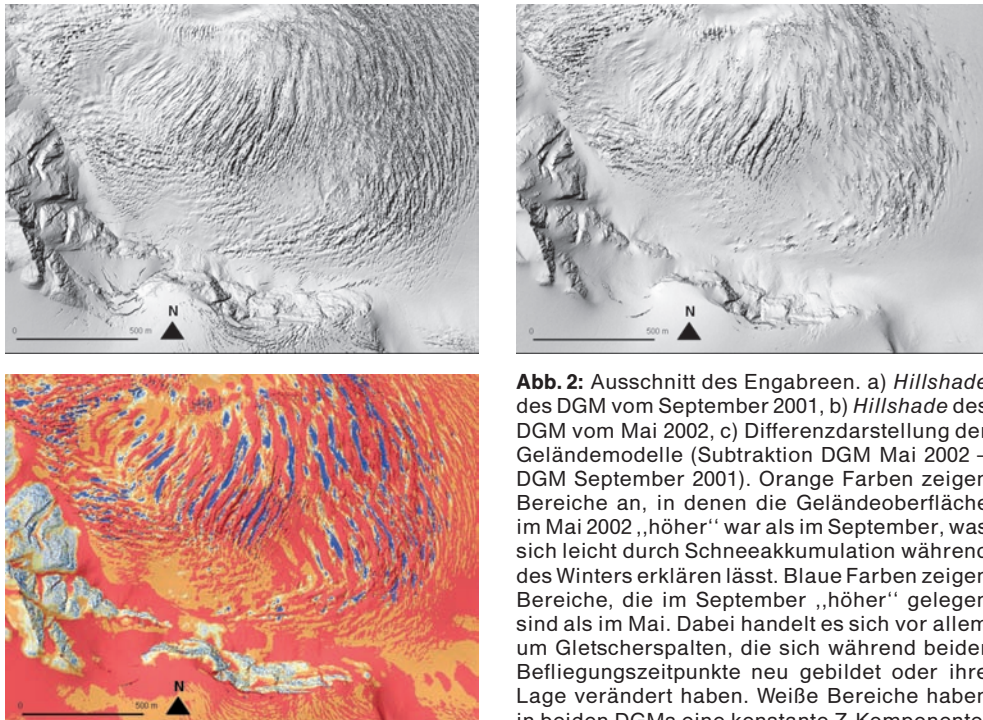


Abb. 2: Ausschnitt des Engabreen. a) *Hillshade* des DGM vom September 2001, b) *Hillshade* des DGM vom Mai 2002, c) Differenzdarstellung der Geländemodelle (Subtraktion DGM Mai 2002 – DGM September 2001). Orange Farben zeigen Bereiche an, in denen die Geländeoberfläche im Mai 2002 „höher“ war als im September, was sich leicht durch Schneeakkumulation während des Winters erklären lässt. Blaue Farben zeigen Bereiche, die im September „höher“ gelegen sind als im Mai. Dabei handelt es sich vor allem um Gletscherspalten, die sich während beider Befliegungszeitpunkte neu gebildet oder ihre Lage verändert haben. Weiße Bereiche haben in beiden DGMs eine konstante Z-Komponente. Hier handelt es sich um steilere Felsbereiche, auf denen sich kein Schnee ablagern konnte.

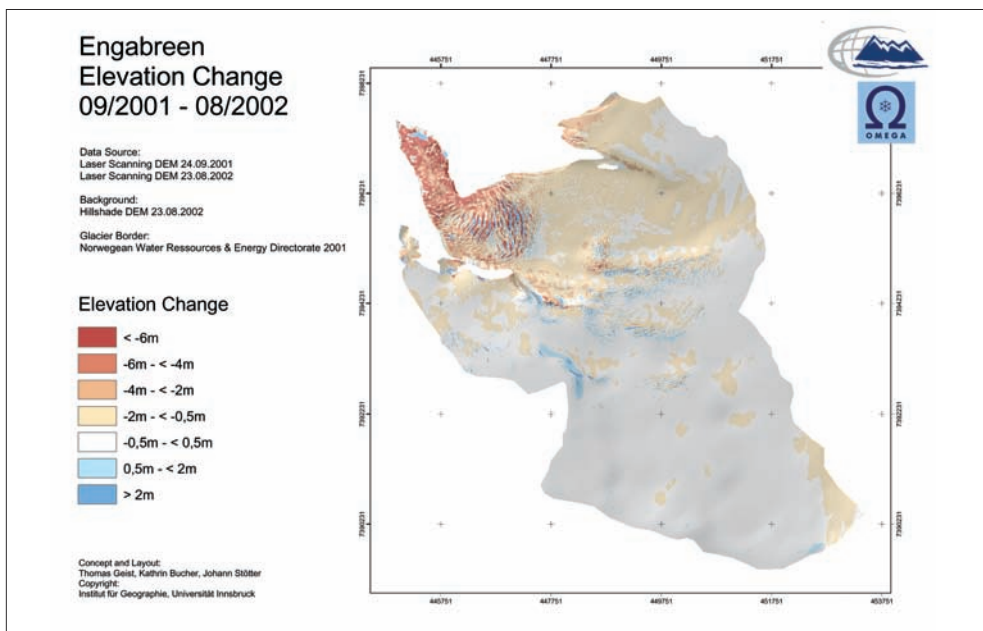


Abb. 3: Karte der Höhenänderungen am Engabreen für das glaziologische Jahr 2001/2002. Die glaziologische Massenbilanz für diesen Zeitraum beträgt 0.4 ± 0.7 m.

Schlussfolgerung

Aus ALS Daten lassen sich hoch auflösende DGMs mit sehr hoher Qualität für die gesamte Gletscherfläche in kurzer Zeit erstellen. Die Lagegenauigkeit liegt im Bereich von ca. 1 m, die Höhen Genauigkeit befindet sich im Dezimeterbereich. Um den vorliegenden Genauigkeitsanspruch photogrammetrisch zu erreichen, müsste man Luftbilder mindestens im Maßstab $> 1:5000$ aufnehmen.

Die Abgrenzung von Gletscherflächen, die Darstellung glaziologischer und geomorphologischer Phänomene sowie die Quantifizierung von topographischen Veränderungen kann mit genügend großer Genauigkeit vorgenommen werden. Dies kommt vor allem im schnee- und firnbedeckten Akkumulationsgebiet von Gletschern zum Tragen, wo die photogrammetrische Erfassung von Gletscheroberflächen (durch Auswertung von Luftbildern) aufgrund der meist fehlenden Oberflächentextur nur unbefriedigende Ergebnisse liefert. Dort kann man aus ALS Daten aufgrund der hohen Messpunktdichte die Gletscheroberfläche wesentlich detaillierter modellieren, was im Hinblick auf gletscherdynamische Prozesse interessant ist.

Im weiteren Verlauf der Datenauswertung werden folgende Themen aufgegriffen:

- Analyse der Signalintensität – LUTZ et al. (2003) haben bereits die grundsätzliche Möglichkeit der Klassifikation der Gletscheroberfläche (Unterscheidung in Eis-, Firn- und Schneeflächen) exemplarisch aufgezeigt,
- Eisdynamik – Ableitung eines Bewegungsfeldes der Gletscheroberfläche,
- Visualisierungspotenzial der ALS Daten für die wissenschaftliche Analyse bzw. (außer)universitäre Lehre.

Viel versprechend ist in dieser Hinsicht die gerade laufende systematische Auswertung der Datensätze von Hintereisferner und Kesselwandferner (10 ALS Aufnahmen zwischen 10/2001 und 9/2003).

3 Ausblick: Der Einsatz von Laserscannerdaten im alpinen Naturgefahrenmanagement

Am *alpS – Zentrum für Naturgefahrenmanagement* läuft seit Juli 2004 ein auf drei Jahre angelegtes Forschungsprojekt, das sich mit der Analyse von ALS Daten für Anwendungen im alpinen Naturgefahrenmanagement beschäftigt. In diesem Bereich besteht ein vielfältiger Bedarf an qualitativ hochwertigen topographischen Daten, z. B. als Input für die Modellierung geomorphodynamischer Prozesse oder als Grundlage für technische Verbauungsprojekte.

Im Rahmen des Projekts soll das Potenzial von Laserscannerdaten für verschiedene Aspekte im modernen Naturgefahrenmanagement anhand konkreter Fallbeispiele aufgezeigt werden. Ein Schwerpunkt der Arbeit wird dabei auf der Ableitung von Oberflächeneigenschaften (z. B. Rauigkeit) liegen.

In der Anfangsphase des Projekts stehen zwei Schwerpunkte im Vordergrund:

- Aufbau eines flexiblen Informationssystem für Laserscannerdaten (HÖFLE 2005). Die Anforderungen an das *Informationssystem* sind maximale Genauigkeit (d. h. direkter Zugriff auf einzelne Elemente der Punktwolke), keine Kosten (d. h. ausschließliche Verwendung von Open-Source Systemkomponenten) und umfassende GIS- und Statistikfunktionalität (wird durch Anbindung von GRASS und R realisiert).
- Festlegen von Auswertestrategien: die *kombinierte Analyse* von Laserscanner Daten (Geländemodelle und Intensitätswerte) und anderen Datentypen (z. B. hochauflösende Bilddaten) zur Objekterkennung und -klassifikation. Die *kombinierte Analyse* verschiedener Datentypen erhält in der Praxis eine immer größere Bedeutung (z. B. GÄHLER et al. 2004). Anhand von Daten des Landesvermessungsamts Vorarlberg werden objekt-basierte Ansätze mit unterschiedlichen Kombinationen von Datentypen getestet. Erste Ergebnisse für forstwissenschaftliche Fragestellungen (RUTZINGER 2005) sind vielversprechend und bilden die

Grundlage für weitere systematische Untersuchungen.

Die Datenverfügbarkeit im alpinen Raum ist – auch durch den verstärkten Einsatz von Laserscanningssystemen höherer Reichweite – stetig steigend. 2004 wurde die landesweite Befliegung des österreichischen Bundeslands Vorarlberg abgeschlossen, die flächendeckende Befliegung von Südtirol soll 2005 abgeschlossen werden, andere Gebietskörperschaften planen vollständige Befliegungen in den kommenden Jahren. Mit der Datenverfügbarkeit werden sich neue Anwendungsfelder von ALS Daten im alpinen Raum eröffnen. Der Bereitstellung von Methoden für Management und Analyse von ALS Daten – geeignet für große Datenmengen und kleinmaßstäbige Aussagen – wird daher wachsende Bedeutung zukommen.

Danksagung

Das Forschungsprojekt OMEGA wurde von der Europäischen Union finanziert (5. Rahmenprogramm, Kontrakt EVK2-CT-2000-00069). Ein besonderer Dank gebührt der TopScan GmbH für die gute Kooperation, dem Landesvermessungsamt Vorarlberg für die Bereitstellung von Testdaten sowie NVE (Norwegische Wasser- und Energiebehörde) für die gemeinsame Auswertung der Engabreen Daten.

Literatur

- BRIESE, C., PFEIFER, N. & DORNINGER, P., 2002: Applications of the Robust Interpolation for DTM determination. – In: Proceedings, ISPRS workshop on Photogrammetric Computer Vision, Graz. CD-ROM.
- HÖFLE, B., 2005: Entwicklung eines Informationssystems für Laserscannerdaten mit open source Software. – Unveröffentlichte Diplomarbeit am Institut für Geographie der Universität Innsbruck.
- GÄHLER, M., SCHIEWE, J., BOHMANN, G. & JANOWSKY, R., 2004: Kombination von hochauflösenden multispektralen Bilddaten und Laserscanningdaten zur Biotoptypenklassifizierung. Mehrwert oder Mehraufwand? – In: STROBL, J. et al. (Hrsg.): Angewandte Geoinformatik 2004 – Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2004: 151–156.
- GEIST, TH., LUTZ, E. & STÖTTER, J., 2003: Airborne laser scanning technology and its potential for applications in glaciology. – Proceedings, ISPRS Workshop on 3-D reconstruction from airborne laserscanner and INSAR data, Dresden: 101–106.
- GEIST, TH., HELLER, A. & STÖTTER, J., 2004: Digitale Geländemodelle aus Airborne Laserscanningdaten – eine qualitative hochwertige Grundlage für glaziologische Fragestellungen. – In: STROBL, J. et al. (Hrsg.): Angewandte Geoinformatik 2004 – Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2004: 163–171.
- GEIST, TH., ELVEHØY, H., JACKSON, M. & STÖTTER, J., im Druck: Investigations on intra-annual elevation changes using multitemporal airborne laser scanning data – case study Engabreen, Norway. – *Annals of Glaciology*, Vol. 42.
- GÜTLINGER, M., SCHLEYER, A. & SPOHRER, M., 2001: Flächendeckendes, hochgenaues DGM von Baden-Württemberg. – *Mitteilungen des Vereins für Vermessungswesen*, 48–2: 63–77.
- HYYPÄ, J., HYYPÄ, H., LITKEY, P., YU, X., HAGGREN, H., RÖNNHOLM, P., PYYSALO, U., PITKÄNEN, J. & MALTAMO, M., 2004: Algorithms and methods of airborne laser scanning for forest measurements. – *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, XXXVI, PART 8/W2: 82–86.
- JACKSON, M., SHAROV, A., GEIST, TH., ELVEHØY, H. & PELLIKKA, P., 2004: OMEGA – User Requirement Document. Interner Projektbericht.
- KRAUS, K., 2004: Photogrammetrie, Band 1: Geometrische Informationen aus Photographien und Laserscanneraufnahmen. – 7. Aufl., Walter de Gruyter Verlag, Berlin.
- RUTZINGER, M., 2005: Identifikation und Klassifikation von Objekten und Oberflächeneigenschaften aus Laserscannerdaten – Auswertestrategien mit eCognition für forstliche Fragestellungen. – Unveröffentlichte Diplomarbeit am Institut für Geographie der Universität Innsbruck.

Anschriften der Autoren:

Dipl.-Geogr. THOMAS GEIST

Mag. BERNHARD HÖFLE

Mag. MARTIN RUTZINGER

alpS GmbH –

Zentrum für Naturgefahren Management

Grabenweg 3, A-6020 Innsbruck, Österreich

Tel.: +43 512 392929-0

Fax: +43 512 392929-39

e-mail: geist@alps-gmbh.com

hoefle@alps-gmbh.com

rutzinger@alps-gmbh.com

<http://www.alps.gmbh.com>

Prof. Dr. JOHANN STÖTTER

Universität Innsbruck

Institut für Geographie

Innrain 52, A-6020 Innsbruck, Österreich

Tel.: +43 512 507-5401

Fax: +43 512 507-2895

e-mail: hans.stoetter@uibk.ac.at

<http://www.geowww.uibk.ac.at>

Manuskript eingereicht: Januar 2005

Angenommen: Februar 2005