

Terrestrisches Long-Range Laserscanning : Überblick und Anwendungen

Autor(en): **Rub, M. / Zogg, H.-M.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement =
Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire =
Geomatca Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio**

Band (Jahr): **106 (2008)**

Heft 3

PDF erstellt am: **10.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-236505>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Terrestrisches Long-Range Laserscanning

Überblick und Anwendungen

Vermehrt werden heutzutage terrestrische Laserscanner in der Geomatik eingesetzt. Doch nicht selten werden traditionelle Vermessungsmethoden dem terrestrischen Laserscanning (TLS) vorgezogen. Dies nicht zuletzt wegen den relativ hohen Anschaffungskosten von terrestrischen Laserscannern aber vor allem auch wegen den noch fehlenden Einsatzmöglichkeiten und Erfahrungen mit den Instrumenten in praxisbezogenen Projekten. Long-Range Laserscanning erschliesst weitere Einsatzgebiete für terrestrische Laserscanner in der Geomatik. Erfahrungen, die während einer Semester- und Diplomarbeit gesammelt werden konnten, sollen einen Einblick in die Technik und vor allem in aktuelle Projekte geben. Schliesslich sollen Einsatzmöglichkeiten und die zu lösenden Probleme im Vermessungsalltag aufgezeigt werden.

Le Laser scanner terrestre (TLS) est adopté toujours plus souvent dans diverses tâches de la géomatique. Cependant, les méthodes de mesures traditionnelles sont fréquemment préférées à ces TLS. Leurs frais d'achats élevés ainsi que le potentiel d'utilisation et les expériences pratiques, qui font encore défaut à l'heure actuelle, en sont les causes principales. D'autres domaines d'application en géomatique sont créés par le Long-Range Laserscanning qui fut l'objet de travaux de semestre et de diplôme. Des conclusions ont pu être tirées de ces études et permettent de se plonger, grâce aux projets actuels, dans la technique ainsi que dans les façons d'engager ce Long-Range Laserscanning. Finalement, les possibilités d'application ainsi que les difficultés rencontrées quotidiennement et qui restent à résoudre seront présentées.

Le applicazioni in campo geodetico della tecnica di rilevamento laser scanning terrestre (TLS) in long range hanno avuto negli ultimi anni un forte sviluppo. Ciononostante, spesso si prediligono ancora i metodi di misurazione classici. Le motivazioni sono perlopiù legate all'ingente costo d'acquisto della strumentazione richiesta e al numero ancora ridotto di applicazioni nell'attività ordinaria. Due tesi di diploma raccolgono e documentano i potenziali campi applicativi del laser scanning in long range nel settore geodetico, offrendo un'ampia panoramica sulla tecnologia e sui progetti attuali più significativi. Sono inoltre trattate le problematiche ancora da affrontare e risolvere legate alla misurazione.

M. Rub, H.-M. Zogg

1. Terrestrisches Long-Range Laserscanning

Beim terrestrischen Long-Range Laserscanning (LRLS) werden Distanzen zum Objekt basierend auf dem direkten Time-of-Flight-Verfahren bestimmt. Grundsätzlich wird die Laufzeit des Laserimpulses zwischen Sender und Empfänger gemessen. Aus dieser Zeit kann mit Kenntnis der Lichtgeschwindigkeit eine Distanz be-

rechnet werden. Weiter werden Horizontal- und Vertikalwinkel gemessen. Aus diesen polaren Messelementen können 3D-Koordinaten berechnet werden. Das Resultat eines Scans wird als 3D-Punkt- wolke bezeichnet. Meist wird zusätzlich zu den geometrischen Elementen die Intensität des zurückgestrahlten Laserlichts abgespeichert. Dieser Intensitätswert wird häufig auch als so genannte vierte Dimension bezeichnet.

In den folgend beschriebenen Projekten wurde jeweils ein LPM-i800HA der Firma *Riegl Laser Measurement Systems GmbH*

[Riegl, 2007] eingesetzt. Bei einer Reflektivität des Objektes von 80% können gemäss Herstellerangaben reflektorlose Distanzen bis zu einer Entfernung von 800 m gemessen werden. Die Wellenlänge des Laserlichtes beträgt 900 nm und ist daher gut geeignet für Scans auf Schnee und Eis. Der Laser wird der internationalen Sicherheitsklasse 1M zugeordnet, d.h. er ist unschädlich für Mensch und Umwelt. Typische Distanzmessgenauigkeiten von $1 \sigma = 15 \text{ mm} + 20 \text{ ppm}$ und Winkelgenauigkeiten von $1 \sigma = 0.009^\circ$ werden erreicht. Die Messrate des Long-Range Laserscanners beträgt ungefähr 1000 Messpunkte pro Sekunde. Das Instrument ist zusätzlich mit einer kalibrierten CCD-Kamera ausgerüstet. Dies ermöglicht eine automatische Einfärbung der Punktwolke mit deren RGB-Werten und Texturierungsmöglichkeiten für beispielsweise digitale Höhenmodelle.

2. Einsatzmöglichkeiten

Die Laserscanning-Technologie wird heutzutage erst vereinzelt in der Praxis eingesetzt. Die kritischen Punkte, welche über eine Anschaffung entscheiden, sind häufig die relativ hohen Anschaffungskosten, die eher geringen Einsatzmöglichkeiten und die damit verbundene Auslastungsrate des terrestrischen Laserscanners. Wo sind denn überhaupt die Anwendungen des terrestrischen LRLSs zu suchen?

Die Einsatzmöglichkeiten sind in ähnlichen Bereichen zu suchen, wie sie im terrestrischen Laserscanning (TLS) mit geringeren Reichweiten zu finden sind. Die Reichweiten lassen jedoch Projekte zu, bei welchen eine Begehung vor Ort nicht möglich ist. Dabei kann an Naturgefahren wie Gletscherabbrüche, Moränen, die infolge der Gletscherrückgänge instabil werden, drohende Felsstürze und Rutschhänge wie auch potenzielle Lawinhänge gedacht werden. Dazu sollen im Folgenden drei konkrete Projekte aufgezeigt werden.

Als erstes Projekt wird die Aufnahme der Skisprungschanze von Engelberg vorgestellt. Dieses Projekt zeigt die Flexibilität



Abb. 1: Punktwolke eines Scans von der Engelberger Skisprungschanze.

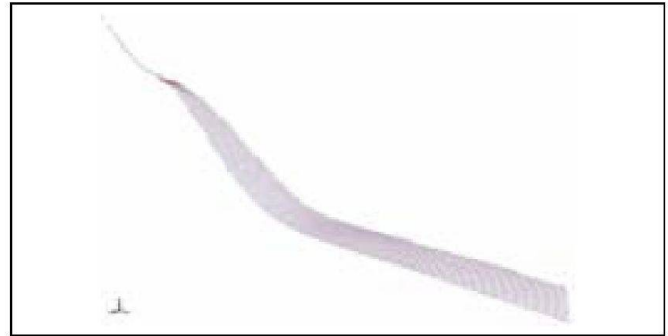


Abb. 2: Aus dem DHM abgeleitete Schanzenprofile.

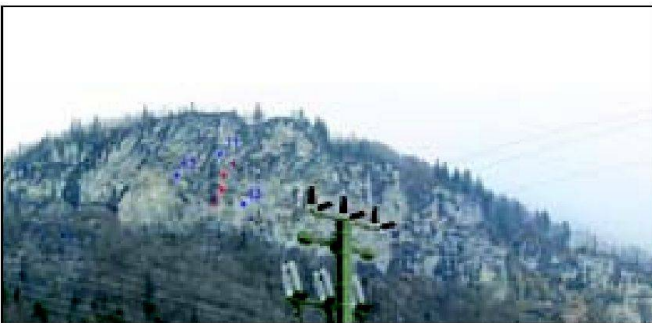


Abb. 3: Felswand am Gulisberg, Meiringen BE. Die Punkte 11 bis 13 dienen als Referenzpunkte zur Beobachtung der Kontrollpunkte 1 und 2, welche direkt an der Felsnase angebracht sind.

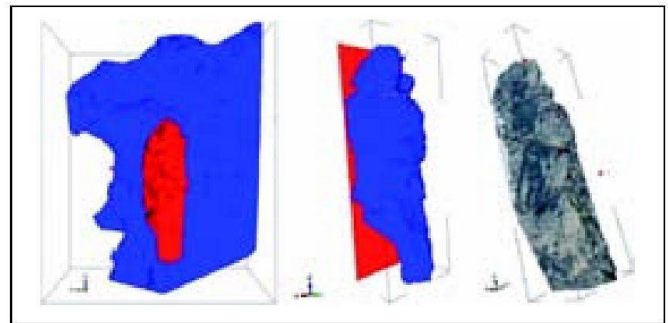


Abb. 4: Links: Rot selektiert die abbruchgefährdete Felsnase. Mitte: Referenzebene zur Bestimmung des Volumens. Rechts: Felsvolumen mit überlagertem Orthophoto.

des terrestrischen LRLSs auf. Das Resultat war ein digitales Geländemodell. Das zweite Beispiel zeigt den Einsatz zur Überwachung von Felsformationen. Das Projekt soll dabei die Vorteile und die aktuellen Nachteile für Überwachungs- und Inventarisierungsprojekte mit Bezug auf dessen Informationsgewinn und weiteren Verwendungen aufzeigen. Das letzte Projekt bietet einen Einblick in den Langzeiteinsatz von LRLS im Zusammenhang mit Schneeverfrachtungen. Bei allen Projekten wird kurz auf den Hintergrund des jeweiligen Projekts eingegangen. Die gemachten Erfahrungen, Resultate und Probleme werden insbesondere in den zwei letzten Projekten aufgezeigt.

2.1 Skisprungschanze

Im Zusammenhang mit photogrammetrischen Flugbahnvermessungen von Skispringern wurde auch LRLS eingesetzt. Das Ziel war die Erfassung und Modellierung der Skisprungschanze mit Fokus der

Bestimmung derer Falllinie. Die Messungen wurden während dem FIS-Weltcupspringen vom Dezember 2006 in Engelberg durchgeführt. Die Modellierung ermöglichte erstmals eine kontinuierliche Auswertung der Flughöhen der Skispringer über Grund während der Flugphase. Zusätzlich konnten die Schnittpunkte der Springerflugbahnen mit dem Gelände – also die Absprung- und Landepunkte – abgeleitet werden. Dies leistet einen wesentlichen Beitrag zur Erarbeitung von Sicherheitsnormen von Skisprungschanzen.

Das Schanzengelände hat Ausdehnungen (Anlauf, Schanzentisch bis hin zum Auslaufteil) von ca. 35 m x 350 m. Dabei ist das erschwerte Gelände mit einer Höhendifferenz von 130 m und Steigungen von bis zu 45° zu erwähnen.

Das ganze Gelände der Skisprungschanze wurde innerhalb von 5.5 Stunden während einer Nacht von drei Stationierungen aus aufgenommen. Die Scans der unter-

schiedlichen Scannerstationen wurden in einem lokalen System registriert, wobei Passpunkte aus dem Fixpunktnetz der Flugbahnvermessung verwendet wurden. Als Passpunkte dienten herkömmliche geodätische Prismen.

Durch die drei Scannerstationen konnte einerseits eine genügende Scanabdeckung sichergestellt und andererseits schleifende Auftreffwinkel, welche die Reflektivität und somit auch die Genauigkeit negativ beeinflussen, grösstenteils vermieden werden. Abbildung 1 zeigt das Intensitätsbild einer Scanaufnahme aufgenommen von der ersten Scannerstation. In Abbildung 2 sind die aus den Scannerdaten abgeleiteten Schanzenprofile sichtbar.

2.2 Überwachung von Felsformationen

Die Flotron AG überwacht südlich von Meiringen periodisch eine Felsnase auf deren Bewegung. Dazu wurden Reflek-



Abb. 5: Ein Teil der modellierten Felswand mit den zur Beobachtung zur Verfügung stehenden Prismen.

toren an den zu überwachenden Stellen angebracht (Abb. 3).

Der terrestrische Long-Range Laserscanner LPM-i800HA wurde in einer Distanz von ca. 600 m zur Felswand aufgestellt. Mit einer Rastergrösse von 20 cm wurde das Objekt aufgenommen. Durch die geodätischen Prismen konnten zugleich fünf Distanzen mit den anschliessenden Tachymetermessungen verglichen werden. Dies ermöglichte eine grobe Genauigkeitsabschätzung.

Die Distanzen zwischen den Prismen weisen eine mittlere Abweichung zu den Tachymetermessungen von $\mu_D = 3.6$ cm und eine mittlere Standardabweichung von $1 \sigma_D = 3.3$ cm auf. Aufgrund dieser Genauigkeit kann die 3D-Punktwolke und das daraus abgeleitete 3D-Modell nicht für weitere Vergleichsmessungen herangezogen werden. Aus einem Vergleich von aufeinanderfolgenden Scanaufnahmen könnten Volumenänderungen bzw. Bewegungen sichtbar werden, die in Wirklichkeit nicht vorhanden sind und nur auf die unzureichende Genauigkeit der Punktwolken zurückzuführen sind.

Durch eine Vermaschung der Punktwolke konnte jedoch erstmals eine Volumenberechnung (Abb. 4) der absturzgefährdeten Felsnase gemacht werden. Das 3D-Modell kann bei akuter Gefahr auch als Grundlage zur Planung von Spreng-

sätzen genutzt werden. Für weitere geologische Einschätzungen (Felsstruktur, Diskontinuitäten, usw.) wurden die digitalen Bilder dem 3D-Modell überlagert (Abb. 5). Das 3D-Modell in Kombination mit digitalen Bildern bietet zudem einen entscheidenden Vorteil zur Visualisierung und Gefahreinschätzung für Behörden und Verantwortliche.

In diesem Projekt konnte die Felsüberwachung studiert werden. Die Felswand konnte erstmals vollständig modelliert und das Volumen der absturzgefährdeten Felsnase bestimmt werden. Das Beispiel zeigt auf, wie LRLS als effiziente Messmethode zur Modellierung eines Gefahrenbereichs eingesetzt werden kann. Die LRLS-Technologie ersetzt dabei die Messungen mittels Tachymeter auf keine Weise, da diese im Genauigkeitsbereich nach

wie vor etwa um den Faktor 10 überlegen sind. In Bezug auf den Informationsgewinn mittels LRLS werden jedoch neue, noch nicht vorhandene Einsatzgebiete erschlossen (Volumenberechnung für Gefahrenabschätzung und Sprengberechnungen).

Die heutigen Verfahren zur Sprenglademengenberechnung und deren Dimensionierung sind nach wie vor empirisch bzw. stützen sich auf bekannte Vereinfachungen. Darum soll am Rande bemerkt sein, dass in Deutschland ein Forschungsprojekt zur Optimierung von Sprengvorgängen in fünf verschiedenen Natursteinbetrieben läuft. Dabei wird auch der Einsatz von terrestrischen Laserscannern untersucht, um die genauen Abbruchvolumen und deren Zertrümmerung (Auflockerungsfaktor) zu bestimmen. Ziel ist es,

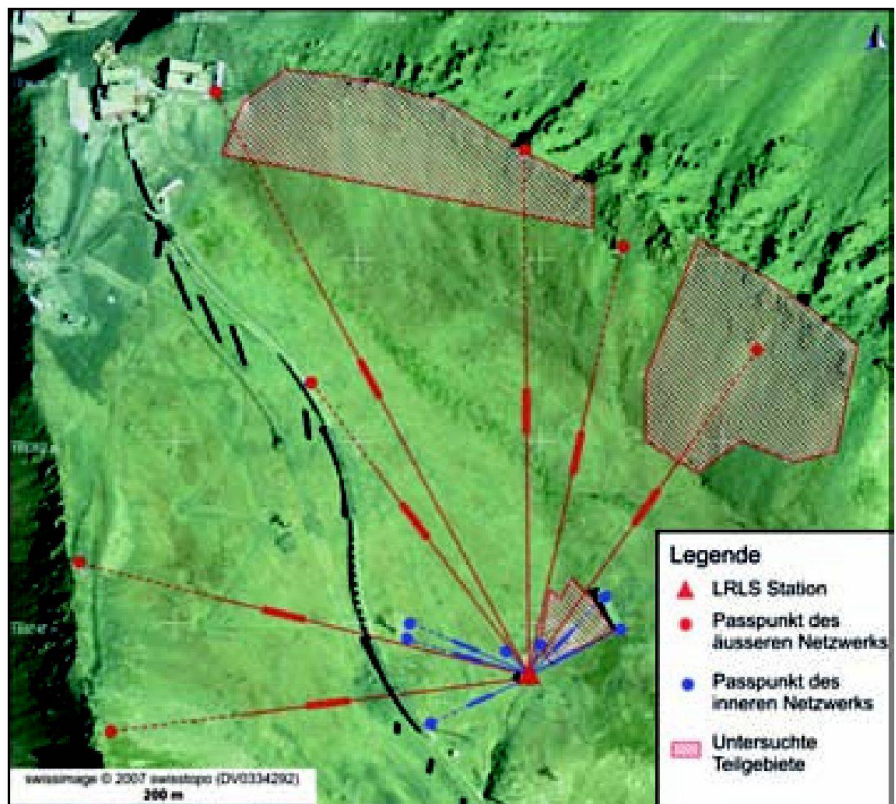


Abb. 6: Orthophoto des Versuchsfeldes südöstlich des Weissfluhjochs in Davos. Die schraffierten Flächen stellen die untersuchten Teilgebiete dar, welche in unterschiedlichen Entfernungen zum Scannerstandpunkt liegen. Dies ermöglichte die Untersuchung von verschiedenen Reflektivitäten und Auftreffwinkeln des Laserstrahls. Die roten und blauen Punkte symbolisieren Passpunkte zur Registrierung bzw. Referenzierung der 3D-Punktwolken und Tachymetermessungen.

die energetische Ausnutzung der Sprengkraft effizienter zu nutzen. Dies resultiert in weniger Sprengungen was in direktem Zusammenhang mit den Durchsatzleistungen der Brechanlagen steht und nicht zuletzt weniger Lärm- und Erschütterungsemissionen zur Folge hat [Martienssen, 2007].

2.3 Schneeverfrachtungen

Im Rahmen der Diplomarbeit des Autors [Rub, 2007] am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie (IGP) der ETH Zürich konnte in Zusammenarbeit mit der Universität für Bodenkultur (Boku) Wien und dem Eidgenössischen Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) Davos eine Überwachungsprojekt zur Lawinenforschung studiert werden. Einerseits wird in der Schnee- und Lawinenforschung nach effizienten Methoden zur Erfassung bzw. Überwachung der Schneedecke gesucht. Dabei sind Daten zur Schneeverfrachtung ein wichtiger Parameter für die Gefahrenreinschätzung [Bauer, 2004]. Zudem können diese als Grundlage zur Berechnung des Schnee-Wasser-Äquivalents herangezogen werden. Letzteres wird wiederum zur Planung von Lawinenverbauungen verwendet.

Erstmals konnten in einer vierwöchigen Feldkampagne Genauigkeiten, Zuverlässigkeiten und Einsatzmöglichkeiten verschiedener Sensoren zur Schneehöhenreineruierung untersucht werden. Dabei sind Long-Range Laserscanner, reflektorlos messende Tachymeter, Handsondierungen und Ultraschallsensoren zum Einsatz gekommen [Prokop, 2007].

Ein vordefiniertes Gebiet (nordöstlich vom Scannerstandpunkt) von 1.4 ha wurde sofern möglich täglich gescannt (Abb. 6). Dabei wurden jeweils Scans durchgeführt und unmittelbar danach Handsondierungen. Zudem konnte an sechs Tagen ein Raster mittels reflektorlosen Tachymetermessungen als Vergleichsmessungen herangezogen werden. Um am selben Ort und mit unterschiedlichen Methoden erfasste Schneehöhen miteinander zu vergleichen, wurden 95 Bambusstangen im Gebiet ausgesteckt, die als Referenzpunkte dienten. Zudem wurden die La-

scannerscanner- und Tachymeterdaten anhand bekannter Zielpunkte georeferenziert. Letztere sind bewusst in einem äusseren und inneren Ring bezüglich des Laserscanners angelegt worden. Dadurch konnten Registrierungs-genauigkeiten anhand verschiedener Passpunktkombinationen untersucht werden.

Die Langzeitbeobachtungen ermöglichen einen Vergleich verschiedener Epochen nach unterschiedlichen Schneeverfrachtungsperioden oder Setzungen und Akkumulationen durch Schneefall. Schneeverfrachtungen (Abb. 7) konnten jedoch nicht nur nach einigen Tagen signifikant nachgewiesen werden, sondern bereits nach wenigen Stunden.

Zur Genauigkeitsabschätzung des Laserscanners LPM-i800HA wurden reflektorlo-

se Tachymetermessungen herangezogen. Die verwendeten Tachymeter der Serie Leica TCRA1201 weisen eine Distanzmessgenauigkeit von $1\sigma = 2\text{ mm} + 2\text{ ppm}$ im Reflektorlos-Modus auf. Für den Vergleich wurden die 95 Punkte (Fusspunkt der Bambusstangen) mit dem Tachymeter gemessen und später aus dem Höhenmodell der jeweiligen 3D-Punktwolke des LPM-i800HA abgeleitet. Modellierungsfehler im Höhenmodell wurden als minimal angenommen, da die Rastergrösse überall kleiner als 9 cm war. Insgesamt standen zehn Vergleichsmessungen zur Verfügung mit minimaler Zeitdifferenz. Das heisst, es wurde angenommen, dass sich die Schneedecke in dieser Zeit nicht signifikant veränderte. Daraus folgte eine mittlere Höhenabweichung von $\mu_H = 4.1$

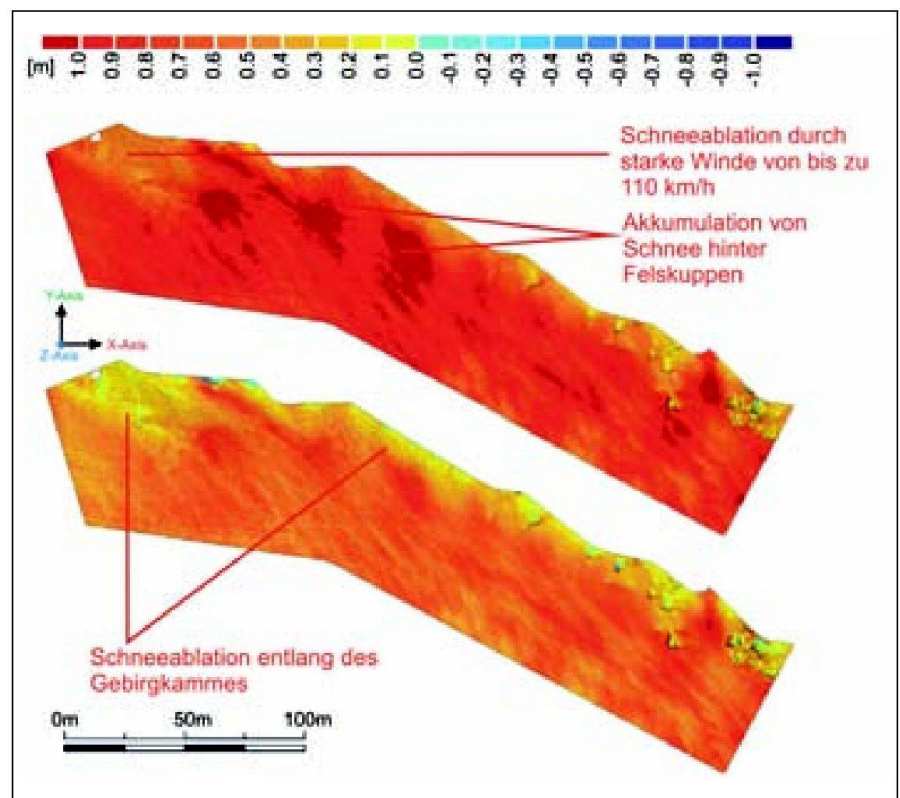


Abb. 7: Im oberen Vergleich wurden zwei Scans des nördlichen Teilgebiets verglichen. Diese neuntägige Periode war charakteristisch für Schneefall und starker Wind bis zu 110 km/h. Der untere Vergleich zeigt denselben Referenzscan verglichen mit einem Scan 11 Tage später. Die zwei Tage zwischen den zwei verschiedenen Vergleichsscans waren durch Windstille und ohne weitere Schneefälle ausgezeichnet. Dabei wird deutlich, wie sich die Schneedecke im Allgemeinen gesetzt hat und weitere Schneeverfrachtungen entlang des Gebirgkammes stattgefunden haben.

cm und deren mittlere Standardabweichung von $1 \sigma_H = 4.8$ cm.

Die gemachten Erfahrungen zeigen, dass in einer Entfernung von 500 m mit einer Höhengenaugigkeit von $1 \sigma_H = 8.5$ cm gerechnet werden kann. Diese empirische Genauigkeit stammte aus zahlreichen unabhängigen Vergleichsscans, welche unter so genannten Wiederholbarkeitsbedingungen erfasst wurden. Grösste Fehlerquellen waren dabei die Registrierung, Strahldivergenz des Lasers, Einfallswinkel, Meteorologie wie auch die sich verändernde Schneeoberfläche. Dabei wurden nur die Fehlerquellen bei der Datenerfassung berücksichtigt. Weiter wurde das Fehlerbudget durch Generalisierung und Rasterisierung der Punktwolke belastet. Dies war beispielsweise der Fall bei der Reduzierung der Punktmenge und anschliessender Interpolation in ein regelmässiges Raster.

3. Fazit

Die beschriebenen Projekte zeigen, dass mit dem verwendeten terrestrischen Long-Range Laserscanner LPM-i800HA in einer Entfernung von 500 m 3D-Punktgenauigkeiten < 10 cm erreichen werden. Dies ist als absolute Genauigkeit unter Berücksichtigung der Registrierung zu verstehen und für periodische Scans von grosser Bedeutung. Weitere Entwicklungen der Firma *Riegl Laser Measurements Systems GmbH* [Riegl, 2007] lassen bereits Messweiten von bis zu 6 km zu. Dies bei gleich bleibenden Genauigkeitsparametern analog zum vorgestellten terrestrischen Laserscanner. Insbesondere

wurde eine geringere Strahldivergenz von 0.8 mrad umgesetzt.

Die vorgestellten Projekte zeigen auf, dass terrestrisches LRLS noch nicht für geodätische Überwachungen mit Genauigkeitsanforderungen im Subcentimeterbereich eingesetzt werden kann. Obwohl im Ausland Erfahrungen mit permanenten Laserscanner-Stationen gemacht wurden, gestaltet sich die automatische Auswertung von periodischen Scans zu Überwachungszwecken nach wie vor unverständlich. Zusammenfassend kann zu den derzeitigen LRLS-Instrumenten gesagt werden, dass im Bereich der Hardware Genauigkeitssteigerungen notwendig und im Bereich der Software die zeitaufwändigen Auswerteverfahren zu verbessern sind. Diese Nachteile beeinflussen den Einsatz von terrestrischem LRLS für Permanentstationen stark. Doch Entwicklungen finden laufend statt. Dabei ist vor allem die anhaltende Sensorfusion von Tachymeter-, Scanner- und Bilderfassungsfunktionen zu nennen.

Durch die grosse Menge an Infrastruktur, welche teilweise in Gefahrenbereichen erstellt wurde, sind Kontrollsysteme immer von grösserer Bedeutung. Dabei kann LRLS als eine geeignete Methode zur Abschätzung, Beobachtung und im Notfall als Berechnungsgrundlage zur Beseitigung einer Naturgefahr genutzt werden. Die Eigenschaften eines Long-Range Laserscanners werden gerade im Alpenraum zu einem Vorteil, wo häufig grosse Entfernungen zum Gefahrenbereich vorhanden sind bzw. Gebiete mit grosser Ausdehnung gescannt werden müssen. Zudem kann terrestrisches LRLS flexibler

und kostengünstiger eingesetzt werden als luftgestützte Systeme bei Flächen kleiner als ca. 40 ha.

Literatur:

Bauer, A. et al. [2004]: Monitoring von Schneehöhen mittels terrestrischem Laserscanner zur Risikoanalyse von Lawinen. 14th International Conference on Engineering Surveying, Zürich. 15.–19. März 2004.

Martienssen, Th. [2007]: Umweltfreundliche Sprengtechnik. Institut für Markscheidewesen und Geodäsie, TU Bergakademie Freiberg.

Prokop, A. et al. [2007]: A Comparison of Measurement Methods: Terrestrial Laser Scanning, Tachymetry and Snow Probing. International Symposium on Snow Science, Moskau. 3.–7. September 2007.

Riegl Laser Measurement Systems GmbH [2007]: <http://www.riegl.com> (Stand: 1.1.2008).

Rub, M. [2007]: Terrestrial Long Range Laser Scanning for Snow Distribution Monitoring. Diplomarbeit, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich.

Martin Rub
BSF Swissphoto
Dorfstrasse 53
CH-8105 Regensdorf-Watt
martin.rub@bsf-swissphoto.com

Hans-Martin Zogg
ETH Zürich
Institut für Geodäsie und
Photogrammetrie
CH-8093 Zürich
zogg@geod.baug.ethz.ch