Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 98 (2000)

Heft: 6

Artikel: Laserspuren auf Eis gelegt : fluggestütztes Laserscanning im Alpenraum

Autor: Favey, E. / Geiger, A. / Kahle, H.-G.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-235654

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Laserspuren auf Eis gelegt: fluggestütztes Laserscanning im Alpenraum

Im Laufe der letzten Jahre hat sich das fluggestützte Laserscanning zusehends vom rein experimentellen zum operationellen Vermessungs- und Terrainaufnahmeverfahren entwickelt. Um jedoch sehr gute Resultate zu erhalten, müssen im ganzen Aufnahmeprozess an verschiedenen Stellen, angefangen beim Lasergerät bis hin zur Bildverarbeitung, ausgefeilte Methoden implementiert werden. In diesem Zusammenhang stellt sich auch ein durchaus navigatorisches Problem: die Bestimmung der genauen Position und Lage des Flugzeugs. Die Methode des fluggestützten Laserscannings wird anhand eines experimentellen und entwicklungsorientierten Projektes dargestellt.

Au cours des dernières années, le scanning au laser aérien a évolué d'un système purement expérimental au système de levé de terrain et de mensuration opérationnel. Afin d'obtenir de très bons résultats il y a lieu, dans tout le processus et à différents stades du relevé, d'appliquer des méthodes pointues, à commencer par l'appareil laser jusqu'au traitement de l'image. Dans ce contexte, il se pose également un problème de navigation: la détermination de la position et de la situation exacte de l'avion. Ci-après on décrira la méthode du scanning au laser aérien à l'aide d'un projet expérimental d'avenir.

Negli ultimi anni la scannerizzazione a laser aerea è evoluta passando da un processo sperimentale e un processo operativo di misurazione e rilevamento del terreno. Tuttavia, per ottenere dei buoni risultati, è necessario applicare delle metodologie affermate, durante tutto il processo, iniziando dall'apparecchio a laser fino all'elaborazione delle immagini. A questo riguardo si presenta un problema di navigazione: la determinazione del posizionamento esatto e la posizione dell'aereo. Il metodo della scannerizzazione a laser aerea è qui presentato sulla scorta di un progetto sperimentale e orientato verso lo sviluppo.

E. Favey, A. Geiger, H.-G. Kahle

Einleitung

Ziel des Projektes ist die Erfassung der Gletscher- und Firngebiete mit Laserdistanzmessungen aus dem Flugzeug, um Höhenmodelle zu generieren und durch Wiederholungsmessungen Höhenänderungen zu berechnen. Speziell im Firngebiet liegt oft Neuschnee, was die Erhebung der gewünschten Daten mittels photogrammetrischer Messungen mangels genügender Textur erschwert oder gar verunmöglicht. In diesen Fällen ist die Laserdistanzmessung der Photogrammetrie überlegen. Die Lasertechnologie ermöglicht die Bestimmung der Terrainhöhen auch in Gebieten, wo klassische Methoden versagen. Die Informationen über die Gletschertopographie und insbesondere über die Oberflächenverformungsgeschwindigkeit sind als Grundlage und Randbedingungen der Fliessmodelle, wie sie von Gudmundsson und Bauder (1999) entwickelt wurden von grosser Bedeutung.

Im Projekt wurde gezeigt, dass sich flugzeuggestütztes Laserscanning dafür eignet, automatisiert Gletscheroberflächen dreidimensional aufzunehmen. Die für glaziologische Studien nötige Genauigkeit von besser als 0.5 m wurde erreicht. Die Lasermethode ermöglicht, kombiniert mit GPS und ohne Installation von Passpunkten, hochgenaue Aufnahmen auch in texturarmen Gebieten. Durch eine neu entwickelte Kombination eines GPS-Antennen-Arrays mit Inertialsystemmessungen konnten die Position und die Lagewinkel mit der zur DTM Erstellung notwendigen, hohen Genauigkeit berechnet werden. Anhand von bekannten Terrainhöhen wurde die Qualität der Methode überprüft und bestätigt.

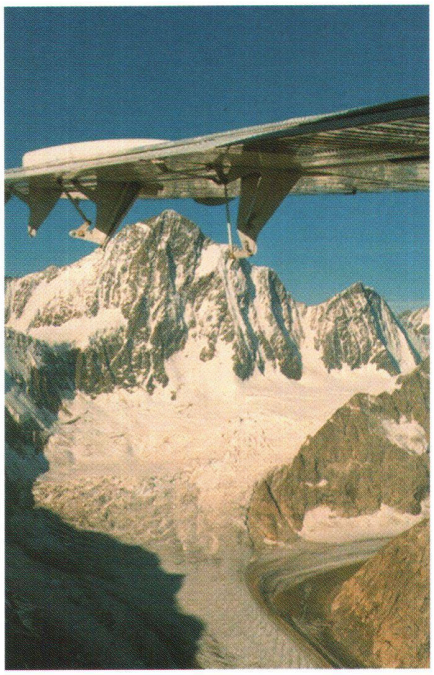

Abb. 1: Finsteraarfirn. Gebiete mit wenig Textur (Schatten, Schneeflächen) führen zu Schwierigkeiten bei der photogrammetrischen Auswertung.

Im Zeitraum Ende August / Anfangs September wurde in den Jahren 1997, 1998 und 1999 jeweils ein Messflug in Zusammenarbeit mit dem Flugdienst der Eidgenössischen Vermessungsdirektion bzw. des Bundesamtes für Landestopographie und dem Institut für Navigation der Universität Stuttgart realisiert. Es wurden pro Jahr 8 Linien über den Firngebieten von Lauteraar-, Finsteraar- und Strahleggletscher geflogen. Der Laserscanner wurde in Stuttgart von Hug (1996) im Rahmen einer Dissertation entwickelt, und anschliessend 1998 noch erheblich verbessert. Die Genauigkeiten von 0.1–0.3 m, welche in ähnlichen Projekten mit Laserprofilierung (Echelmeyer, 1996), oder Laserscanning (Garvin and Williams, 1993,

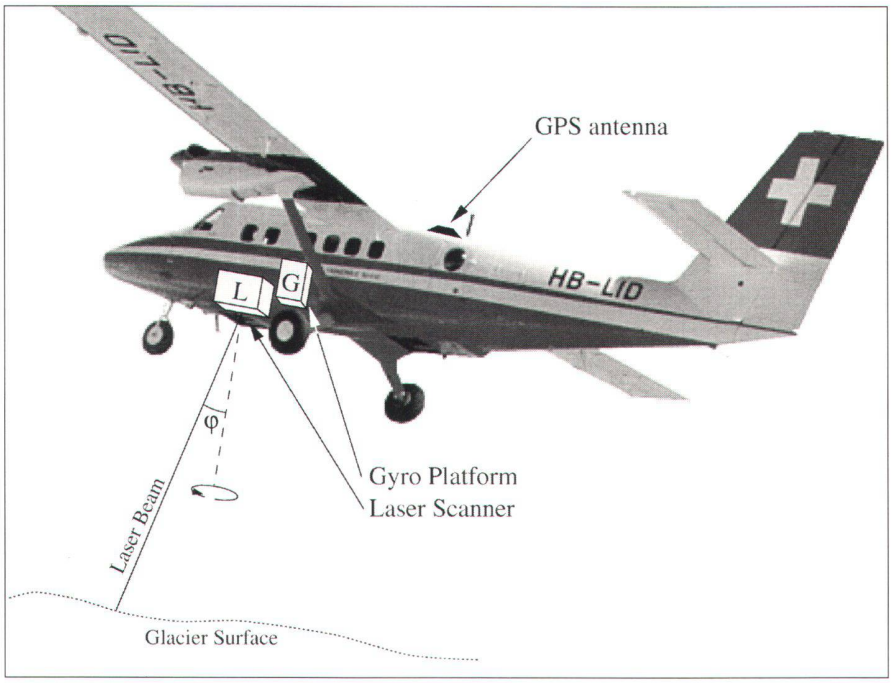

Abb. 2: Prinzip des Laserscanning. Das Abtasten der Oberfläche erfolgt mit einem um die Hochachse rotierenden Laserstrahl. Neben GPS-Empfängern ist ein Inertialsystem (Gyro) zur Bestimmung der Fluglage integriert.

Kennet and Eiken, 1997) quantifiziert werden, wurden mit unserer Systemanordnung ebenfalls erreicht.

Kombinierte Lage- und Positionslösung durch Datenfusion

Eine gute Lage- und Positionslösung ist für die Orientierung eines flugzeuggestützten Sensors unerlässlich. In akzentuiertem Gelände können ohne Weiteres 1 m Höhenfehler, selbst bei kleinen Unstimmigkeiten der Lagewinkelmessung von 0.1° auftreten, dazu wurden im Vorfeld dieses Projektes am GGL (Geiger et al., 1994, Favey et al., 1998) erste Erfahrungen gesammelt. Der Einbau einer zum GPS System zusätzlichen inertialen Messeinheit (Inertial Measurement Unit, IMU) ermöglicht eine optimale Lagewinkelbestimmung. Die mit der IMU bestimmten Lagewinkel wurden in einem neu implementierten Algorithmus mit dem Multi-GPS-Antennen Array kombiniert. Dazu wurde der am Geodäsie und Geodynamik Labor (GGL) entwickelte kinematische GPS Algorithmus (Cocard, 1995) erweitert (Favey et al., 1999). Mit der kombinierten Lösung von Lage- und Positionsdaten wurde eine Genauigkeit von 0.05° für die Fluglage und 1–5 cm für die Position erreicht. Die Genauigkeit der Distanzmessung des Laserscanners wurde von Hug (1996) gemessen und beträgt 0.15 m. Durch die Zusammenführung der Daten der verschiedenen Messsysteme ist für das resultierende digitale Höhenmodell mit einer Genauigkeit von 0.2–0.3 m zu rechnen.

Zur Systemkalibrierung überflog das Flugzeug den Flugplatz «Dübendorf». Für die Verifizierung war insbesondere die Aufnahme der Piste von Interesse, da sie bereits mit terrestrischem, kinematischem GPS vermessen worden war. Insgesamt wurden die Höhen von 2576 GPS-Bodenpunkten mit Laser-Punkthöhen auf zwei Linien verglichen. Dabei resultierten Sigma-Werte von 0.11 m bzw. 0.17 m pro Linie (für Details siehe Favey et al., 1999). Das Sigma der Differenzen ist mit 0.17 m besser, als die auf Grund der Voruntersuchung prognostizierten Werte. Systematische Höhendifferenzen können mit Kalibrierungsverfahren justiert werden.

Für die Wellenlänge von 810 nm verursachen dunkle Objekte eine grössere Streuung der Distanzmesswerte. Da die Intensität des reflektierten Laserstrahles ebenfalls aufgezeichnet wird, können diese fehlerhaften Punkte jedoch automatisch detektiert und eliminiert werden. Wegen dem ellipsenförmigen Abtastmuster des Laserscanners konnten Kalibrationswerte für die einbaubedingten Verkantungen der einzelnen Subsysteme gegeneinander ermittelt und in der Auswertung angebracht werden.

Das Reflektionsverhalten von Schnee und Eis für Laserlicht ist von der Wellenlänge des Messstrahls abhängig. Das verwendete System arbeitet mit einem Laserstrahl der Wellenlänge 810 nm. In diesem Spektralbereich ist die Albedo nahezu optimal und die Eindringtiefe beträgt wie beim sichtbaren Licht weniger als 1 cm.

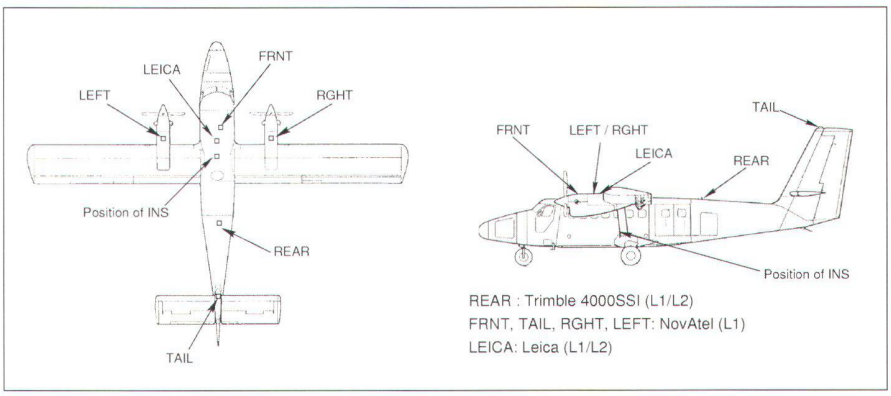

Abb. 3: Mehrfachantennen. Mehrere GPS-Empfänger können dazu verwendet werden, die Lage des Flugzeugs im Raum zu bestimmen. Die GPS-Daten werden zur optimalen Lagebestimmung mit den Gyro-Daten integriert.

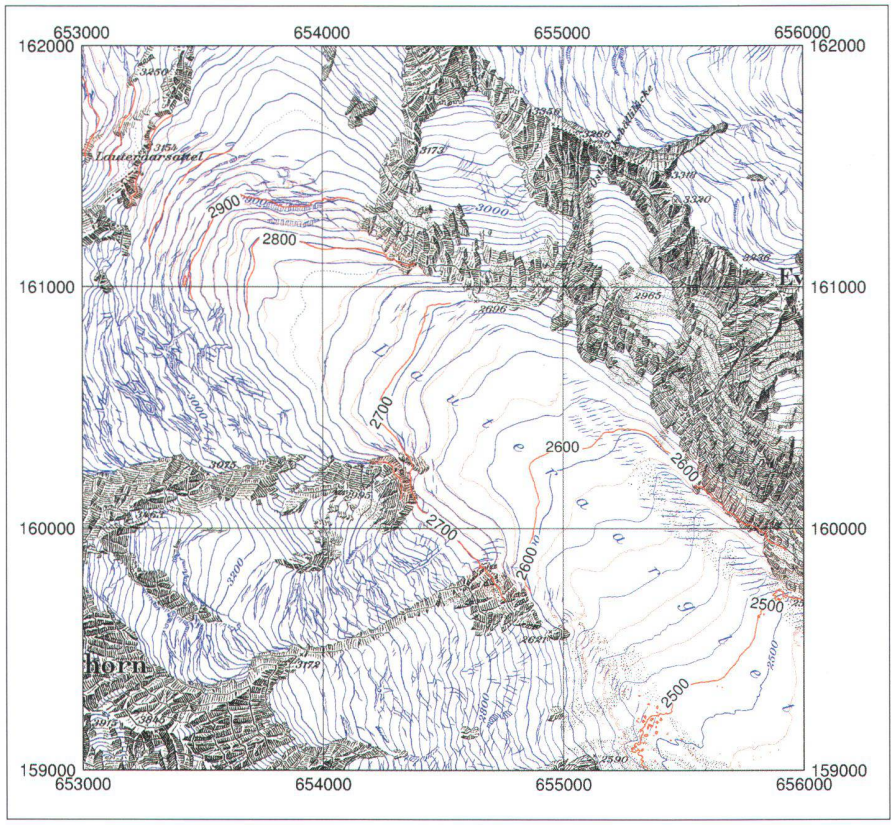

Abb. 4: Höhenlinien [m] aus Laserscanning (rot) mit einer Äquidistanz von 20 m dem entsprechenden Ausschnitt der Landeskarte 1:25 000 überlagert. Im steilen Firngebiet in der nordwestlichen Ecke decken sich die Kurven gut. Im flachen Teil des Gletschers liegt die mit Laserscanning gemessene Gletscheroberfläche rund 10 m tiefer als zur Zeit der Aufnahme der Höhenkurven. In den stabilen Felspartien weist die gute Überdeckung der Höhenkurven auf die Güte der Messung hin.

Vergleich mit bestehenden Terrainmodellen

In Abbildung 4 ist die 1998 mit Laserscanning bestimmte Oberfläche des Lauteraargletscher der Landeskarte überlagert. Sie zeigt auf, dass die mit Lasertechnik gemessene Gletscheroberfläche gegenüber den Höhenkurven der Landeskarte im flacheren Teil um 10 m tiefer liegt, was auf eine Verminderung des Gletschervolumens in der Zeitspanne seit der Nachführung der Landeskarte schliessen lässt.

Folgerungen und Ausblick

Im Bereich Trajektographie wurde eine gute Lösung für die Positions- und Lagewinkelbestimmung realisiert. Die Qualität der Lagewinkelbestimmung konnte dank Kombination von GPS und INS mit einer Genauigkeit von besser als 0.05° realisiert werden. Die Genauigkeit der Lösung des gesamten Laserscanning-Systems ist besser als 0.2 m bei einer Flughöhe von 500 m über Grund, sie wird jedoch mit zunehmender Höhe schlechter (weniger Reflektion ergibt grösseres Rauschen und Lagewinkelfehler wirken sich stärker aus). Das verwendete System arbeitet mit einer Wellenlänge von 810 nm, was für Messungen auf Schnee und Eis optimale Reflektionssignalstärken ergibt. Probleme für die Flugplanung und Durchführung liegen insbesondere in der geringen Flughöhe über Grund und dem schnellen Wind- und Wetterwechsel im Gebirge. Vor allem sind windstille Wetterverhältnisse nötig, um die Flugsicherheit bei tiefen Flugtrajektorien nicht zu gefährden. Ein Einsatz dieser Technologie auf Hubschrauberbasis wäre notwendig, um im flugtechnisch anspruchsvollen Terrain mit optimaler Überdeckung ein digitales Höhenmodell zu messen. Für Kalibrationszwecke sollten mindestens drei sich überlappende Spuren geflogen werden. Dank der starken Automatisierung der Datenerhebung und Prozessierung sowie der Erreichbarkeit der für glaziologische Studien nötigen Genauigkeit eignet sich die Lasertechnik für weitere Schneedecken- und Gletscherveränderungsstudien, speziell in Regionen wo die Platzierung von Passpunkten aufwändig und die Textur für Luftbildauswertungen ungenügend sind. Selbstverständlich ist die Methode nicht an Gletscher gebunden. Etliche Studien und Projekte sowohl im Inwie im Ausland haben die verschiedensten Anwendungsmöglichkeiten, vor allem im urbanen Bereich, dieser neuen Vermessungstechnologie untersucht und aufgezeigt.

Referenzen:

Cocard, M. (1995). High Precision GPS Processing in kinematic mode, volume 52. Schweizerische Geodätische Kommission (ed.), Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz. 139 p.

Echelmeyer, K. A., Harrison, W. D., Larsen, C. F., Sapiano, J., Mitchell, J. E., DeMallie, J., Ra-

Abb. 5: Terrainmodell aus Lasermessungen generiert. Zur Verdeutlichung sind die Signaturen der Landeskarte eingedruckt. Weisse Gebiete zeigen Laser-Datenausfälle. Die Auflösung ist an den Gletscherspalten zu erkennen.

bus, B., Adalgeirsdottir, G., and Sombardier, L. (1996). Airborne surface profiling of glaciers: a case-study in A laska. J. Glaciol., 42(142):538–547.

Favey, E., Cerniar, M., Cocard, M., and Geiger, A. (1999a). Sensor Attitude Determination Using GPS Antenna Array and INS . In ISPRS WG III/1 Workshop: Direct Versus Indirect Methods of Sensor Orientation, Barcelona, Nov. 25 -26 , pages 28–38.

Favey, E., Geiger, A., Gudmundsson, G. H., and Wehr, A. (1999b). Evaluating the potential of an airborne laser-scanning system for measuring volume changes of glaciers. Geogr. Ann., 81A(4):555–561.

Favey, E. and Schlatter, A. (1998). Geoidbestimmung am Lac Leman . Technical report, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich, Bericht Nr. 282. 130 p.

Garvin, J. B. and Williams, R. S. (1993). Geodetic airborne laser altimetry of Breidamerkurjökull and Skeidararjökull, Iceland, and Jakobshavns Isbrae , West Greenland . Ann. Glaciol. , 17:379–385.

Geiger, A., Cocard, M., Peter, Y., and Kahle, H.-G. (1994). Precise DGPS and self-calibrating Laser altimetry for airborne marine geoid determination . In Proceedings of 7th Int. Techn. Meeting of Institute of Navigation (ION) GPS , pages 471–476.

Gudmundsson, G. H. and Bauder, A. (1999). Towards an indirect determination of the mass-balance distribution of glaciers using the kinematic boundary condition. Geogr. Ann., 81A(4):575–584.

Hug, C. (1996). Entwicklung und Erprobung eines abbildenden Laseraltimeters für den Flugeinsatz unter Verwendung des Mehrfrequenz-Phasenvergleichsverfahrens . PhD thesis, Universität Stuttgart, Deutsche Geodätische Kommission, München. Reihe C, Heft Nr. 457, 122 p.

Kennett, M. and Eiken, T. (1997). Airborne measurement of glacier surface elevation by scanning laser altimeter. Ann. Glaciol., 24:293–296.

Dipl. Ing. Etienne Favey
Dr. Alain Geiger
Prof. Dr. Hans-Gert Kahle
Geodesy and Geodynamics Lab
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
ETH-Hönggerberg
CH-8093 Zürich
e-mail: favey@geod.baug.ethz.ch

Trimble

... Tatsachen !

Trimble GPS-Fakten:

- weltweiter Marktführer seit 1983
- über 300 Entwicklungsingenieure
- kontinuierliche Weiterentwicklung
- Marktanteil Schweiz über 40 %
- kundenfreundlicher Support
- praxisbezogene Produkte
- breite Produktpalette

Site Vision, **Trimble** GPS-Maschinensteuerung Flughafen Zürich

allnav
makes pleasure

Obstgartenstr. 7, 8035 Zürich, Tel. 01 363 41 37, Fax 01 363 06 22, allnav@allnav.com, www.allnav.com
Baden-Württemberg: 71522 Backnang, Tel. 07191 73 44 11, Bayern: 83646 Bad Tölz, Tel. 08041 79 97 50