

Qualitätsprüfung für Geländemodelle aus ALS-Daten

Gerhard NAVRATIL, Martin WIESER und Christian MAYR

Dieser Beitrag wurde nach Begutachtung durch das Programmkomitee als „reviewed paper“ angenommen.

Zusammenfassung

Digitale Höhenmodelle aus Airborne Laserscanning (ALS) bekommen in der Praxis immer größere Bedeutung. In diesem Beitrag wird untersucht, inwieweit ein solcher Datensatz den Ansprüchen eines Endanwenders genügt. Beim Nutzer handelt es sich um die Bundesforste AG, die basierend auf ALS-Modellen Visualisierungen durchführen möchte. Daneben sollen auch Modellrechnungen für Überschwemmungen gerechnet werden. Daher wurde die Qualität eines Datensatzes im Raum der Hainburger Au auf seine Qualität untersucht.

1 Einleitung

Die Bundesforste AG nutzt seit 2007 neben herkömmlichen Datenquellen wie terrestrischen Vermessungen und Luftbildern auch aus Airborne Laserscanning (ALS) abgeleitete Datensätze. Vorwiegend werden sie für Visualisierungen eingesetzt, der Einsatz der Daten ist aber auch in einer Reihe weiterer Anwendungen geplant: Trassierungen, Renaturierungen, Abbauflächen bei Deponien und forstrelevante Anwendungen wie Baumhöhenermittlung und Bestandsaussagen. Solche Anwendungen benötigen eine Höhengenauigkeit im Dezimeterbereich. Die Untersuchung der tatsächlich gegebenen Genauigkeit in einem kleinen Gebiet ist der Inhalt des vorliegenden Artikels.

Nach einer kurzen Einführung in ALS und daraus abgeleiteten Modellen werden die Strategie des Tests beschrieben und die Testdatensätze vorgestellt. Der Hauptteil des Artikels umfasst die Ergebnisse der Untersuchungen. Hierbei wird auf den horizontalen Versatz und die Lage von Bruchlinien eingegangen, die aus dem Modell abgeleitet werden können. Eine kurze Zusammenfassung samt Ausblick auf weitere Arbeiten schließt den Artikel ab.

2 Airborne Laserscanning und abgeleitete Modelle

ALS ist ein flugzeugbasiertes System, das einen Laserscanner trägt (HYYPÄ et al. 2009). Moderne ALS sind in der Lage mehr als 200.000 Punkte pro Sekunde aufzunehmen. Die gängigsten ALS-Systeme beruhen auf einer polaren Punktaufnahme, wobei die Strecke und ein Winkel gemessen werden. Dieser Winkel wird von der Ablenkvorrichtung des Spiegels bestimmt. In Verbindung mit der Bewegung des Flugzeugs ergeben sich daraus 3D-Koordinaten. Das Prinzip der Streckenmessung ist ähnlich jenem des Tachymeters. Bei Airborne Laserscannern werden keine Reflektoren angezielt, sondern man misst das Signal,

welches vom Laserscanner ausgestrahlt und von der Oberfläche und den Objekten zurückgestrahlt wird. Da der Öffnungswinkel des Laserstrahls mit der Entfernung zunimmt, wird nicht zu einem bestimmten Punkt gemessen, sondern zu einer Fläche mit den zugehörigen Objekten. Diese Fläche nennt man den Footprint. Die Bewegung des Flugzeugs wird mit GPS und einem inertialen Messsystem bestimmt, diese Kombination der Messungen wird als Trajektorie des Flugzeugs bezeichnet.

Von den mittels ALS bestimmten Daten können Höhenmodelle abgeleitet werden. Es wird zwischen Gelände- und Oberflächenmodellen unterschieden. Digitale Geländemodelle (DGM, DTM) beschreiben die Höhen des Bodens ohne Bewuchs oder künstliche Bauwerke. Dabei wird meist im Bereich künstlicher Bauwerke die Höhe interpoliert. Ein Oberflächenmodell (DOM, DSM) hingegen stellt die Höhen mit Bewuchs und künstlichen Objekten dar. Der Weg von den ALS-Daten zum Modell ist aufwändig, ist aber in der Literatur hinlänglich beschrieben (z. B. MANDLBURGER et al. 2009, PETRINI-MONTEFERRI et al. 2008, PFEIFER & MANDLBURGER 2008).

3 Teststrategie

Um die Genauigkeit des Datensatzes zu untersuchen, wurden sie mit als korrekt angenommenen Daten verglichen. Dazu wurde eine terrestrische Geländeaufnahme durchgeführt. Die Aufnahme erfolgte etwa $\frac{1}{2}$ Jahr nach dem ALS-Flug. Somit sind große Änderungen des Naturstandes nicht zu erwarten.

Bei der terrestrischen Aufnahme wurden sowohl die Oberflächen als auch vorhandene Bruchlinien möglichst gut erfasst. Daher wurden Profile quer zu den Bruchlinien gemessen. Diese Bruchlinien konnten dann in Lage und Höhe mit den aus dem DGM ermittelten Bruchlinien verglichen werden.

Zur Analyse wurden die Daten der Messungen mit verschiedenen Verfahren interpoliert und danach die Differenz an den Rasterpunkten des Geländemodells bestimmt und ausgewertet. Die Analyse wurde mit dem Programm Scop++¹ durchgeführt. Die verwendeten Interpolationsmethoden waren lineare Interpolation mittels Triangulation und adaptive Prädiktion. Adaptive Prädiktion ist eine Erweiterung der Linearen Prädiktion (KRAUS 1970) bei der die stochastischen Parameter an das zu modellierende Gelände angepasst werden können (IPF & INPO GMBH 2003, S. 141). Bei der statistischen Analyse werden zudem nur Rasterpunkte berücksichtigt, die in der Nähe der gemessenen Punkte liegen.

Bei der Differenzbildungen wurden die terrestrisch erfassten Daten von den ALS-Daten abgezogen, es wurde also IST – SOLL berechnet. Somit bedeuten positive Differenzen, dass das ALS-Modell über den terrestrisch erfassten Daten liegt. Das wäre beispielsweise durch Vegetationseinflüsse zu erklären.

¹ SCOP++ ist eine gemeinsame Marke der inpho GmbH und dem Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der Technische Universität Wien (www.inpho.de, www.ipf.tuwien.ac.at).

4 Testdatensatz

Die Testdaten wurden von der Bundesforste AG zur Verfügung gestellt. Es waren vom Land Niederösterreich bezogene DGM- und DOM-Daten mit einer Maschenweite von 1 m. Da es sich um einen aus ALS-Messungen abgeleiteten Datensatz handelt, sind Informationen bezüglich der Aufnahmesituation nicht verfügbar. Die Daten zeigen einen Ausschnitt des Nationalparks Donauauen im Bereich der Gemeinde Eckartsau im östlichen Niederösterreich. Das Gebiet hat eine Ausdehnung von ca. 150 m Länge und 100 m Breite. Es umfasst drei unterschiedliche Bereiche. Der nördliche Teil ist eine als Wildschweingehege verwendete und damit sehr unebene Wiese. Der südliche Teil umfasst eine glatte Wiese mit leichten Wellen und einem quer verlaufenden, bewachsenen Graben von etwa 1,5 m Tiefe und 3 – 4 m Breite (siehe Abb. 3). Getrennt sind die beiden Teile durch einen etwa 5 m hohen Damm mit asphaltierter Dammkrone. Abbildung 2 zeigt die Struktur des Damms. Die Dammkrone ist gleichmäßig und bietet optimale Voraussetzungen für gute Ergebnisse. Nördlich vom Damm (in Abb. 2 auf der linken Seite) befindet sich ein Begleitweg. Somit verlaufen entlang des Damms mehrere Bruchlinien, die auch aus den Daten ableitbar sind. Abb. 1 zeigt ein Orthophoto des Testgebietes.

Die Vergleichsdaten wurden wie terrestrisch erfasst. Verwendet wurde ein Leica TC 703 Tachymeter. Mittels Polygonzug wurden Standpunkte nahe den aufzunehmenden Gebieten bestimmt. Diese Messung erfolgte zwangszentriert. Anschließend erfolgte die Detailvermessung. Zwangszentrierung war hier aufgrund der mehrtägigen Messungen und der starken Nutzung der Dammkrone durch Radfahrer nicht möglich. Die Punkthöhen wurden von Nivellementpunkten der VIA Donau abgeleitet, die sich wiederum auf das amtliche Höhensystem beziehen. Die Höhen der Festpunkte sollten somit im Bereich weniger Millimeter mit dem amtlichen Höhensystem zusammenpassen.

Das verwendete Tachymeter hat eine Standardabweichung der Winkelmessung von 1 mgon. Bei einer maximalen Distanz von etwa 50 m zu den aufzunehmenden Punkten ergeben sich daraus Unsicherheiten von weniger als 1 mm. Unter Berücksichtigung der Definitionsunsicherheit durch Oberflächenrauigkeit kann von einer Höhengenaugigkeit von unter 1 cm ausgegangen werden.

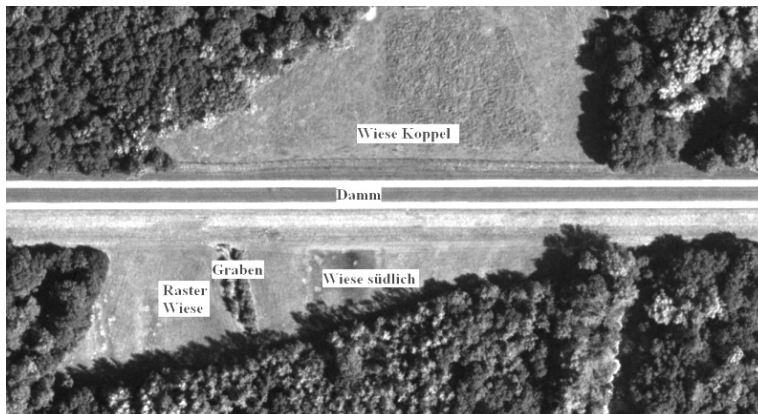


Abb. 1: Das Testgebiet südlich von Eckartsau (WIESER 2010)



Abb. 2: Blick vom linken Ende des Testgebietes nach Osten (WIESER 2010)



Abb. 3: Graben im Testgebiet: Links Gesamtansicht von Norden, rechts Detailansicht (WIESER 2010)

5 Ergebnisse

5.1 Vertikaler Versatz

Vertikale Abweichungen des Modells sind bei allen lokalen Betrachtungen von zweitrangiger Bedeutung. Probleme bereiten sie vor allem beim Verknüpfen des Modells mit weiteren 3D-Datensätzen. Daher wurde untersucht, ob generell eine vertikale Abweichung vorliegt und ob diese von Geländeform und Bewuchs abhängig ist. Der vertikale Versatz wurde in drei verschiedenen Gebieten bestimmt: für die asphaltierte Dammkrone, für die südliche Wiese mit geringer Variation der Höhe und für den Graben mit Bewuchs.

Die asphaltierte Dammkrone bietet die besten Voraussetzungen für eine gute Qualität der ALS-Daten: Die Oberfläche ist glatt, eben und frei von Bewuchs. 340 Punkte des Höhenmodells liegen innerhalb des mit terrestrischen Messungen abgedeckten Gebietes. Für die Differenzen ergeben sich die Werte aus Tabelle 1.

Tabelle 1: Ergebnisse des vertikalen Versatzes für die Dammkrone

	Lineare Interpolation	Adaptive Prädiktion
Mittelwert	3,7 cm	3,8 cm
Median	3,6 cm	3,8 cm
Standardabweichung	1,6 cm	1,5 cm
Min	1,1 cm	-0,5 cm
Max	8,3 cm	7,8 cm

Die in der Wiese gelegenen Punkte wurden in einem Raster mit Maschenweite von ca. 40 cm auf einer Fläche von etwa 120 m² erfasst. Im selben Gebiet befinden sich 122 Punkte des DGM. Das Gelände weist Wellen auf, die in Abbildung 4 auch erkennbar sind.

Alle terrestrischen Punkte liegen tiefer als die DOM und DGM-Daten. Aufgrund des sich nur schwach ändernden Geländes und des feinen Rasters ergeben sich kaum Unterschiede zwischen den Interpolationsmethoden (Tab. 2).

Die Abweichungen sind über dem Raster gleichbleibend. Trend ist keiner festzustellen. Langgezogene Bodenwellen mit einer Variation von 0,5 m scheinen also keinen Einfluss auf den Höhenabweichung der Daten zu haben. Diese ist mit 4,5 cm etwas größer als bei der Straße, dies kann jedoch auf den Bewuchs zurückgeführt werden. Dasselbe gilt auch für die Standardabweichung.

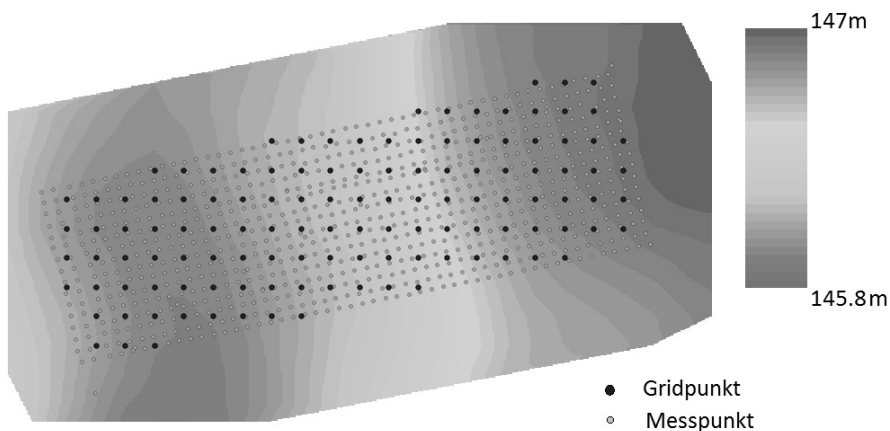


Abb. 4: Anordnung der Rasterpunkte auf der Wiese (WIESER 2010)

Tabelle 2: Ergebnisse des vertikalen Versatzes für die Wiese

	Lineare Interpolation	Adaptive Prädiktion
Mittelwert	4,5 cm	4,4 cm
Median	4,5 cm	4,0 cm
Standardabweichung	2,6 cm	3,4 cm
Min	0.0 cm	2,0 cm
Max	9,0 cm	7,0 cm

Die Erfassung der Form des Grabens mittels ALS ist nicht optimal. Es ist anzunehmen, dass nicht alle Signale auch wirklich bis zum Boden durchdringen. Daher muss mit größeren Abweichungen gerechnet werden. Abbildung 5 zeigt die Anordnung der Messpunkte. Die Korrektheit der Modellierung ist vor allem bei Renaturierungen relevant, da diese von der Geländeneigung abhängen. Steile Hänge sind oft unbewirtschaftet und weisen dann höheren Bewuchs auf. Im Bereich des Grabens wurden 173 Punkte gemessen. Die Rasterpunkte in diesem Bereich haben Abweichungen von etwa 25 cm. An den tiefsten Stellen treten Differenzen von 50 cm und mehr auf. Abbildung 6 zeigt die Verteilung der Differenzen. Die extremen Abweichungen an den Rändern ergeben sich vor allem durch das Fehlen von Messungen an diesen Stellen und durch die angewandten Interpolationsmethoden. Für die statistische Auswertung (Tab. 3) wurden 2049 Rasterpunkte verwendet. Problematisch wird die Abweichung vor allem dann, wenn das Volumen des Grabens in Entscheidungsprozesse einfließt. Dann führt die fehlerhafte Schätzung der Grabentiefe zu ungenauen Entscheidungsgrundlagen.

Tabelle 3: Ergebnisse des vertikalen Versatzes im Graben

	Lineare Interpolation	Adaptive Prädiktion
Mittelwert	7,4 cm	10,0 cm
Median	9,6 cm	9,4 cm
Standardabweichung	21,0 cm	21,0 cm
Min	-133.0 cm	-105,4 cm
Max	66,0 cm	72,0 cm

Die großen Minimalwerte ergeben sich durch den Umstand, dass am südlichen Grabenrand keine Messwerte vorliegen und beim Extrapolieren die Schräge der Grabenseite nach Süden hin verlängert wird.

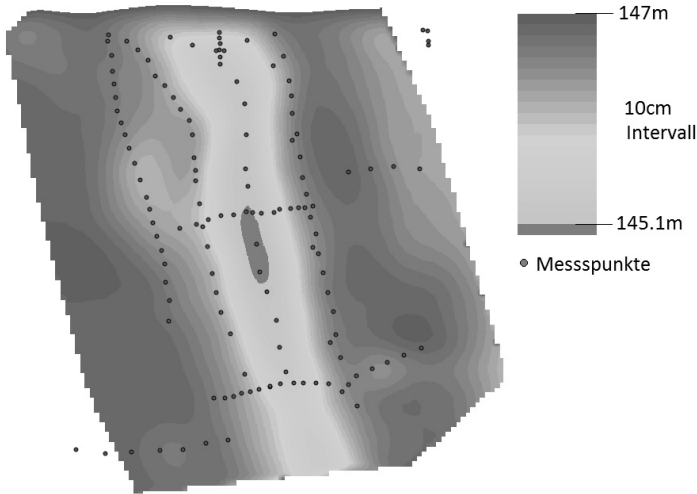


Abb. 5: Anordnung der Rasterpunkte für die Messung des Grabens (WIESER 2010)

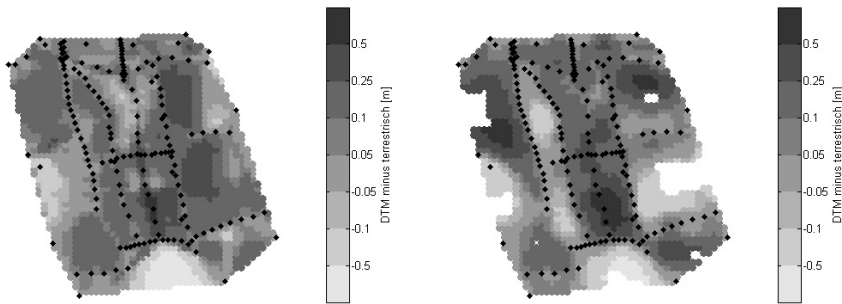


Abb. 6: Abweichungen an den Rasterpunkten: links bei linearer Interpolation mittels Triangulation; rechts bei adaptiver Prädiktion (WIESER 2010)

Die innerhalb des Grabens liegenden Rasterpunkte unterliegen keiner Extrapolation. Beschränkt sich die Auswertung auf diese 773 Punkte, so verschieben sich die statistischen Kennwerte. Mittelwert und Median beider Interpolationsmethoden liegen nun bei 11 bis 13 cm. Minimum und Maximum ergeben sich zu -30 cm und $+70$ cm. Wie zu erwarten war, sind die Abweichungen deutlich höher als bei der Wiese. Einerseits ist der Graben mit Sträuchern bewachsen, andererseits können beim Filtern und Interpolieren die tiefste Stelle angehoben und die Ränder abgeflacht werden.

5.2 Geländeformen und -Kanten

Wesentlich für manche Anwendungen ist auch die Wiedergabe unterschiedlicher Geländeformen im Modell. Dazu wurden der Damm ausgewertet und der Graben auf Lage- und Höhenversatz von Bruchlinien hin untersucht.

Auf der Dammkrone und am nördlichen Dammfuß befinden sich etwa 2,5 m breite Straßen. Gemessene Profile zeigen die Lage und Höhe der Dammkanten und der Straßenbegrenzungen.

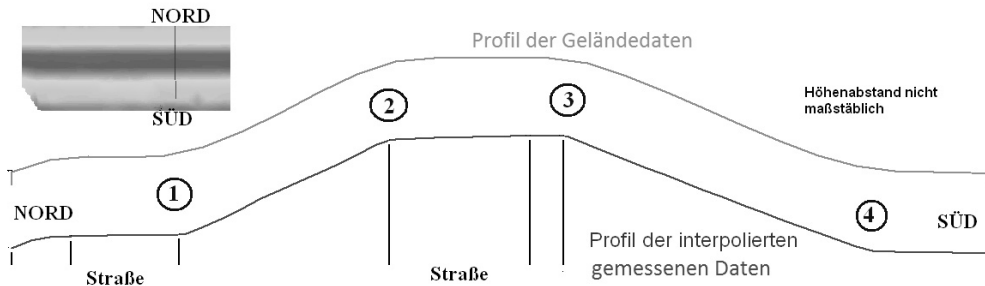


Abb. 7: Vershoben übereinandergelegte Darstellung eines Dammschnitts aus dem ALS-Modell (oben) und der terrestrischen Aufnahme (unten) (WIESER 2010)

Die erhaltenen Abweichungen sind gering. Auffällig ist einzig, dass größere positive Abweichungen an der Südseite des Damms auftreten. Besonders in der Nähe der Dammkrone treten hier stärkere Abweichungen auf. Eine Erklärung wäre, dass beim Interpolieren der Geländedaten die Dammkrone verbreitert wurde. Da diese Abweichungen aber im Bereich von unter 20 cm liegen, wird das Ergebnis als noch zufriedenstellend erachtet.

Dasselbe wurde auch für den Graben gemacht. Die Abweichungen haben zwar eine ähnliche Form wie beim Damm, es treten aber große vertikale Abweichungen im Inneren des Grabens auf. Kanten werden in den DGM-Daten um bis zu 50 cm falsch wiedergegeben. Ein Grund dafür ist der Bewuchs im Graben, andererseits wird auch die geringe Grabenbreite eine Rolle spielen. Je schmaler eine Geländeform ist, desto eher wird sie beim Interpolieren verebnet.

Um die gemessenen Kanten mit dem Geländemodell zu vergleichen, mussten zuerst die Geländekanten im DGM definiert werden. Dazu wurden für den Damm drei Ebenen aus den Rasterpunkten approximiert und anschließend miteinander verschnitten. Die mittleren Abweichungen der Punkte von den jeweiligen Ebenen betrugen zwischen 1,4 cm und 4 cm. Zur Beurteilung der Qualität dieser Kante wurde der Normalabstand der Messpunkte zu den Schnittgeraden untersucht. Der mittlere Abstand beträgt 13,6 cm für die nördliche Kante und 34,4 cm für die südliche Kante. Diese Werte sind zufriedenstellend und entsprechen auch den Erwartungen. Die Dammkrone ist mit 2,5 m breit genug, um mit dem ALS einige Messpunkte darauf zu erhalten. Auch der Verdacht einer Verbreiterung der Dammkrone bestätigt sich, da alle terrestrisch gemessenen Kantenpunkte innerhalb der Schnittgeraden liegen.

6 Zusammenfassung

Auf wenig bewegten Flächen stimmen die Höhenwerte bis auf einen vertikalen Versatz von ca. 4 cm μ berein. Woher dieser Versatz kommt, ist nicht bekannt. Er liegt innerhalb der dreifachen Standardabweichung, k3nnte also durchaus zufällig sein. Bei ausgedehnten Geländeformen treten auch bei gr33eren Geländeneigungen meist nur Abweichungen bis zu 10 cm auf. Damit ist die Forderung erf3llt, dass Gel3ndeunterschiede von 20 cm erkannt werden.

Probleme treten bei kleinr3umigen Gel3ndeformen und bei starker Vegetation auf. Beides verursacht nicht unbetr3chtliche H3henfehler. Zu beachten ist auch, dass Gr3ben durch diese Fehler 3blicherweise abgeflacht werden. Speziell stark geneigte Gr3ben mit scharfen Kanten und spitz zulaufende Gr3ben sind hiervon betroffen. Bei photogrammetrisch bestimmten Oberfl3chenmodellen wurde dieses Problem durch Hinzuf3gen von Bruchlinien behoben. Das w3re auch f3r Modelle aus ALS eine L3sung wie bereits von BRIESE et al. (2002) gefordert.

Noch nicht untersucht wurden die Effekte f3r den bewaldeten Bereich. Die ermittelten Abweichungen und Genauigkeiten sind wesentlich geringer als die beispielsweise von KRAUS und PFEIFER (1998) f3r Waldgebiete bestimmte Standardabweichung von 57 cm. Das kann einerseits an der fehlenden Bewaldung, andererseits an einer generellen Genauigkeitssteigerung liegen. Eine Untersuchung in Finnland f3hrte zu einer Standardabweichung von 15 cm (HYYPP3 et al. 2000). Eine weitere Untersuchung ist bereits in Arbeit um die vorliegenden Ergebnisse auch auf bewaldete Fl3chen auszudehnen.

Referenzen

- BRIESE, C., KRAUS, K. & PFEIFER, N. (2002): Modellierung von dreidimensionalen Gel3ndekanten in Laser-Scanner-Daten. In: TU Dresden: Festschrift anl3sslich des 65. Geburtstages von Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Siegfried Meier. Technische Universit3t Dresden, Dresden, S. 47-52.
- HYYPP3, J., PYYSALO, U., HYYPP3, H. & SAMBERG, A. (2000): Elevation Accuracy of Laser Scanning-Derived Digital Terrain and Target Models in Forrest Environment. Proceedings of EARSeL-SIG-Workshop LIDAR, Dresden, Deutschland, S. 139-147.
- HYYPP3, J., WAGNER, W., HOLLAUS, M. & HYYPP3, H. (2009): Airborne Laser Scanning. In: WARNER, T. A. FOODY, G. M. & NELLIS, M. D. (Eds.): The SAGE Handbook of Remote Sensing. SAGE Publications, London, U.K., S. 199-211.
- IPF & INPO GMBH (2003): SCOP++ Software Manual for SCOP++ Version 5.2.2 and higher. Institut f3r Photogrammetrie und Fernerkundung, TU Wien und INPHO GMBH, www.inpho.de.
- KRAUS, K. (1970): Interpolation nach kleinsten Quadraten in der Photogrammetrie. Zeitschrift f3r Vermessungswesen (zfv), 95 (9), S. 387-390.
- KRAUS, K. & PFEIFER, N. (1998): Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 53 (4), S. 193-203.

-
- MANDLBURGER, G., HÖFLE, B., BRIESE, C., RESSL, C., OTEPKA, J., HOLLAUS, M. & PFEIFER, N. (2009): Topographische Daten aus Laserscanning als Grundlage für Hydrologie und Wasserwirtschaft. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 61 (7-8), S. 89-97.
- PETRINI-MONTEFERRI, F., DREXEL, P., GEORGES, C. & WICHMANN, V. (2008): Aufbau eines Laserscanningdaten Informationssystems für das Landesvermessungsamt Feldkirch (Land Vorarlberg). In: STROBL, J., BLASCHKE, T. & GRIESEBNER, G. (Hrsg.): Angewandte Geoinformatik 2008. Heidelberg, Wichmann Verlag, S. 47-52.
- PFEIFER, N. & MANDLBURGER, G. (2008): Filtering and DTM Generation. In: SHAN, J. & TOTH, C.: Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing. CRC Press, S. 307-333.
- WIESER, M. (2010): Vergleich von Airborne-Laserdaten aus Bundesforste Bestand mit terrestrisch ermittelten Messdaten in einem repräsentativen Testgebiet im Nationalpark Donauauen. Institut für Geoinformation und Kartographie. Wien, TU Wien. Bachelor: 31.