



Universitätslehrgang “Laserscanning – Datenerfassung und anwendungsorientierte Modellierung“

Karl Kraus ¹

¹ *Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Wien, Gußhausstraße 27-29, A-1040 Wien*

VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation **91** (4), S. 219–222

2003

BibT_EX:

```
@ARTICLE{Kraus_VGI_200328,  
  Title = {Universit{"a}tslehrgang ‘‘Laserscanning -- Datenerfassung und  
          anwendungsorientierte Modellierung‘‘},  
  Author = {Kraus, Karl},  
  Journal = {VGI -- {"0}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessung und  
            Geoinformation},  
  Pages = {219--222},  
  Number = {4},  
  Year = {2003},  
  Volume = {91}  
}
```





Universitätslehrgang „Laserscanning“ – Datenerfassung und anwendungsorientierte Modellierung

Vorwort

Karl Kraus, Wien

Motivation für den Universitätslehrgang

Das Laserscanning ist gegenwärtig eine stark expandierende Disziplin zur metrischen Erfassung von Oberflächen. Mit flugzeuggetragenen Laserscannern werden Geländeoberflächen, aber auch Vegetation und Dachlandschaften ermittelt. Mit terrestrischen Laserscannern werden Gebäudefassaden, Deponien sowie der Aushub im Tunnel und im Steinbruch, aber auch Architekturmodelle, Kunstgegenstände, etc. erfasst. Das Laserscanning liefert sehr große Punktwolken, aus denen – in Abhängigkeit von der jeweiligen Anwendung – die relevanten Informationen (Geländemodelle, Geländeoberkanten von Hochwasserschutzdämmen, CAD-Modelle von Gebäuden etc.) extrahiert werden müssen. Das Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung (I.P.F.) der TU Wien bearbeitet gegenwärtig mit mehreren Partnern umfangreiche einschlägige Pilotprojekte. Die Konzeption dieser Pilotprojekte, die zum Einsatz kommenden mathematischen Methoden und Softwarepakete sowie die zu erschließenden Anwendungsbereiche eignen sich für einen Universitätslehrgang.

Dankenswerterweise widmet die VGI-Schriftleitung das gesamte Heft diesem Universitätslehrgang. Im Folgenden sollen die einzelnen Beiträge dieses Heftes in einen Zusammenhang gestellt und auch Beiträge des Universitätslehrganges erwähnt werden, die nicht in diesem VGI-Heft enthalten sind.

Einführungs- und Basisvorlesungen

Der Leiter des Universitätslehrganges hat in den folgenden drei Vorlesungen die Grundlagen gelegt und die Einsatzmöglichkeiten angerissen:

- Prinzipien des flugzeuggetragenen Laserscannings und seine Abgrenzung zu anderen Datenerfassungsverfahren (z.B. Stereophotogrammetrie).
- Die wichtigsten Parameter (Genauigkeit, Punktdichte, etc.) für die Projekt- und Flugplanung.
- Konstruktionsprinzipien sowohl terrestrischer Laserscanner als auch Laserscanner für den

extremen Nahbereich und Aufnahmeplanung sowie Strategien zur Objektmodellierung.

Das Manuskript dieser drei Vorlesungen erscheint als 7. Auflage des Bandes 1 „Photogrammetrie“ mit dem Untertitel „Geometrische Informationen aus Photographien und Laserscanneraufnahmen“ beim Walter de Gruyter Verlag, Berlin, im Februar 2004.

Die reflektorlose Entfernungsmessung mit dem Laserstrahl setzt die diffuse Reflexion an dem vom Laserstrahl getroffenen Oberflächenelementen voraus. Inwieweit diese Voraussetzung zutrifft – und viele andere physikalische Einflussfaktoren der Laserentfernungsmessung – behandelt der Beitrag „Der Laserstrahl und seine Interaktion mit Oberflächen unterschiedlicher Beschaffenheit“ von W. Wagner, A. Ullrich und Ch. Briese.

Georeferenzierung flugzeuggetragener Laserscanneraufnahmen

Bei einer Laserscanner-Flugmission müssen mehrere Mess- und Registriereinrichtungen mit einer hohen Präzision zusammenspielen. Mit differenziellem GPS wird weitgehend die Flugbahn ermittelt, mit einer inertialen Messeinrichtung (IMU) vor allem die Stellung des Flugzeuges und schließlich mit einer Ablenkeinrichtung im Laserscanner die Richtung der zu messenden Entfernungen. Außerdem besteht noch ein komplexes Datumsproblem, denn die GPS- und IMU-Informationen beziehen sich auf ein globales Koordinatensystem, die Ergebnisse der Laserscanner-Mission erwartet man aber im Landeskoordinatensystem.

Während der Flugmission sind zwei bis drei Referenzstationen zu besetzen. In Zukunft werden es virtuelle Referenzstationen sein. Außerdem erhält die Flugfirma zur Kalibrierung des Gesamtsystems die Höhen einiger horizontaler Testflächen. Die Flugfirma liefert die kartesischen Koordinaten – streifenweise – im GPS-Koordinatensystem, in der Regel im WGS 84.

Anschließend erfolgt die Qualitätskontrolle. In den Überlappungsbereichen der Streifen, insbe-

sondere entlang der Querstreifen, werden an vegetationsfreien Stellen die Diskrepanzen automatisch ermittelt. Außerdem ist es empfehlenswert, terrestrische Passpunkte zu bestimmen und ihre Diskrepanzen zu den Laserscannerdaten zu ermitteln.

Im Gegensatz zur Photogrammetrie gibt es beim Laserscanning – wegen der verhältnismäßig groben Auflösung – allerdings keine Passpunkte und keine Verknüpfungspunkte. An die Stelle der Passpunkte treten geneigte Passebenen und an die Stelle der Verknüpfungspunkte zwischen den Streifen treten automatisch zu bestimmende Verknüpfungsebenen. Mit den Diskrepanzen an den Passebenen und an den Verknüpfungsebenen kann eine Blockausgleichung mit den Laserscanner-Streifen als Elementareinheiten durchgeführt werden. Die einzelnen Streifen werden dabei verschoben und gedreht, eventuell auch mit zusätzlichen Parametern deformiert. Wenn die Passpunkte mit ihren Landeskoordinaten eingeführt werden, werden auf diese Weise auch die Geoidundulationen und die Spannungen im Festpunktfeld der Landesvermessung weitgehend berücksichtigt. Erfolgt diese Blockausgleichung im globalen Koordinatensystem, was theoretisch zu bevorzugen ist, sind im Anschluss an die Blockausgleichung die Geoidundulationen und die Netzspannungen mit entsprechenden Transformationen zu berücksichtigen. Der komplexen Aufgabe der Georeferenzierung ist der Beitrag „Simultaneous Georeferencing of Aerial Laser Scanner Strips“ von H. Kager gewidmet. Er ist in englischer Sprache entstanden. Aus Zeitgründen ist die Übersetzung unterblieben.

Gelände- und Stadtmodelle aus flugzeuggetragenen Laserscanneraufnahmen

Nach Überführung der Laserscannerpunkte in das Landeskoordinatensystem sind aus der Punktwolke die Objektmodelle zu bilden. Die Aufgabe wird dadurch erschwert, dass man nicht weiß, welche Objekte angemessen und an welchen Objektstellen die Messungen vorgenommen wurden. Die Einzelmessungen sind verhältnismäßig genau, eine darüber hinausgehende Genauigkeitssteigerung kann durch Einbeziehung der großen Anzahl der Messungen erreicht werden. Diese Charakterisierung der ursprünglichen Laserscannerpunkte legt die Auswertung mittels statistischer Methoden nahe. Am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung (I.P.F.) der TU Wien wurde bereits 1996/97 eine solche Methode entwickelt, die im VGI-Heft

1/1997, S. 25 ff., erstmals publiziert und im Wienerwald-Projekt der Magistratsabteilung 41 der Stadt Wien erstmals mit Erfolg erprobt wurde (VGI-Heft 3/1997, S. 174 ff.). Herr Dr. N. Pfeifer, der inzwischen zur TU Delft gewechselt ist, war maßgebend bei der Methodenentwicklung am I.P.F. beteiligt (siehe VGI-Heft 2/2001, S. 83 ff.). Sein Beitrag „Oberflächenmodelle aus Laserdaten“ geht näher auf die I.P.F.-Methode ein. Sein Beitrag spricht auch die vielen anderen Methoden an, die in letzter Zeit entstanden sind.

In der Fortsetzung des Universitätslehrgangs hat Herr Dipl.-Ing. Ch. Briese die folgenden beiden Vorträge gehalten:

- Datenreduktion dichter Laser-Geländemodelle.
- Extraktion von Strukturelementen aus flugzeuggetragenen Laserscannerdaten.

Der erste Beitrag behandelt das Problem, die aus den sehr dichten Laserscannerdaten abgeleiteten digitalen Geländemodelle auf ein Datenvolumen zu reduzieren, das auch Folgeprogramme (z.B. im GIS-Bereich, in der Hydrologie) bewältigen können. Der I.P.F.-Ansatz geht davon aus, alle Laserscannerdaten zur Ableitung des digitalen Geländemodells heranzuziehen (Genauigkeitssteigerung!) und erst dann die Datenreduktion vorzunehmen. Man kann auch eine andere Strategie verfolgen. In den Heften 5/2003, S. 312 ff. und 6/2003, S. 357-366, der zfv (Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement) ist darüber eine längere Diskussion – gemeinsam mit vielen anderen Aspekten – publiziert.

Der zweite Beitrag von Herrn Briese soll vor einer Publikation noch weiter verfeinert werden. Eine interessante Zwischenlösung bietet sich für die österreichische Datensituation an. Am Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) wurden nämlich in den letzten Jahren in photogrammetrischen Stereomodellen die geomorphologischen Strukturlinien aus 21 cm-Aufnahmen mit dem Bildmaßstab 1:15000 digitalisiert. Die Faustformeln für die Stereophotogrammetrie ergeben daraus eine Lagegenauigkeit von ± 25 cm und eine Höhengenaugigkeit von ± 45 cm. Diese Lagegenauigkeit ist etwas besser als die Lagegenauigkeit des flugzeuggetragenen Laserscannings; die Höhengenaugigkeit ist dagegen wesentlich schlechter als die Höhengenaugigkeit des flugzeuggetragenen Laserscannings. Damit kommt eine interessante Symbiose von Photogrammetrie und Laserscanning zustande: Die Lage der Strukturlinien übernimmt man von der Photogrammetrie, die Höhen dieser Linien werden aus den Laserscannerdaten ermittelt.

Die Lage der wichtigsten Strukturelemente kann man auch mittels einer Regensimulation im verhältnismäßig stark geneigten Gelände finden. Darüber und zusätzlich über attraktive Visualisierungen berichtet der Beitrag „Analyse und geomorphologische Verbesserung von Geländemodellen mittels Regensimulation“ von P. Dorninger. Der Dorninger'sche Beitrag spannt den Bogen von einem Projekt im Wienerwald über ein Projekt der Schneeealpe bis zum Weltraumprojekt Mars-Express der Europäischen Weltraumbehörde (ESA).

Aus flugzeuggetragenen Laserscannerdaten lassen sich auch Gebäudemodelle ableiten. Der Aufsatz „Ableitung von Stadtmodellen aus Laserscannerdaten, Grundrissplänen und photographischen Aufnahmen“ von J. Jansa und H. Stanek berichtet darüber. Es werden zwei Methoden präsentiert. Die erste Methode wurde im Kompetenzzentrum „Advanced Computer Vision“ mit Beteiligung des Ingenieurbüros P. Schmid, Wien, entwickelt. Diese Methode liefert sehr genaue CAD-Modelle. Sie setzt die zweidimensionalen Gebäudegrundrisse voraus. Losgelöst von dieser Voraussetzung hat Dr. F. Rottensteiner am I.P.F. eine auf Bildverarbeitung gestützte Methode entwickelt, die ebenfalls in dem erwähnten Beitrag „Jansa/Stanek“ beschrieben ist.

Eine Abrundung des flugzeuggetragenen Laserscannings bildet der Beitrag „Vergleich digitaler Geländemodelle aus Photogrammetrie und Laserscanning“ von M. Attwenger und Ch. Briese. Im Pulkautal wurde sowohl ein Geländemodell mittels Stereophotogrammetrie als auch mittels flugzeuggetragenem Laserscanning abgeleitet. Der Vergleich der beiden Geländemodelle ist von großem praktischen Interesse.

Terrestrisches Laserscanning

Der zweite Teil des Universitätslehrganges war dem terrestrischen Laserscanning und dem Laserscanning im extremen Nahbereich gewidmet. Der Einführungsvortrag des Leiters des Universitätslehrganges wurde bereits erwähnt. In der Fortsetzung wurde der Beitrag „Multistationsausgleichung für ein Laserscannersystem mit aufgesetzter Kamera“ von A. Ullrich, R. Schwarz und H. Kager präsentiert. Er zeigt die vielseitigen Möglichkeiten der Datenerfassung und Datenauswertung auf, wenn der Laserscanner mit einer aufgesetzten photographischen Digitalkamera kombiniert wird. Im Beitrag „Modellierung terrestrischer Laserscannerdaten am Beispiel der Marc-Anton-Plastik“ von A. Haring,

Ch. Briese, N. Pfeifer wird das terrestrische Laserscanning mit einem unabhängigen Bildverband aus digitalen Kodak-Aufnahmen kombiniert und nachgewiesen, dass die hybride Ausgleicheung aller Informationen einen erheblichen Genauigkeitsgewinn an den Objektpunkten bringt. Im zweiten Teil dieses Aufsatzes wird beschrieben, wie aus Laserscanner-Punktwolken eine anspruchsvolle Oberflächenmodellierung mit einem in der Geometrie entstandenen Softwarepaket erfolgen kann.

Noch weiter in das Fachgebiet der modernen Geometrie dringt der Beitrag „Orientierung von Laserscanner-Punktwolken“ von M. Hofer und H. Pottmann ein. Aus der Sicht der Photogrammetrie lösen die Geometrie-Experten die Orientierungsaufgaben unkonventionell. Sie finden zum Beispiel auch Lösungen der Orientierungsaufgaben von Punktwolken ohne die in der Photogrammetrie „heiligen“ Verknüpfungspunkte. Im Rahmen des Innovativen Projektes „3D-Technik“ (<http://www.geometrie.tuwien.ac.at/3dtechnik>) der TU Wien, das Prof. Pottmann leitet und in dem mehrere Institute – auch das I.P.F. – zusammenarbeiten, werden verschiedene Fachgebiete zusammenwachsen und sich gegenseitig befruchten. Die Klammer bildet der in dem Innovativen Projekt angeschaffte VI-900-Minolta Laserscanner für den extremen Nahbereich, der auch im Übungsprogramm des Universitätslehrganges eingebunden war.

Abschluss des Universitätslehrganges

Den Abschluss des Universitätslehrganges bildete der Vortrag „Anwendungsmöglichkeiten des Laserscannings einschließlich Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen“ von K. Kraus. Die wichtigsten Aussagen sollen im Folgenden zusammengefasst werden:

- Kunstgegenstände (Statuen etc.) sowie Bauteile (Maschinenbau, Bauingenieurwesen, etc.) werden in Zukunft mit Laserscanning – eventuell ergänzt mit digitalen photographischen Aufnahmen – erfasst bzw. dokumentiert.
- Bei der Erfassung und Dokumentation ebener Gebäudefassaden mit vielen Details ist die digitale photogrammetrische Entzerrung nach wie vor das adäquate Verfahren.
- Tiefenmäßig stark gegliederte Objekte mit gewölbten Flächen werden in Zukunft mit terrestrischen Laserscannern – eventuell ergänzt mit digitalen Kameras – bearbeitet.
- Die Erfassung und Dokumentation tiefenmäßig stark gegliederter Objekte, insbesondere

Fassaden, mit vielen Kanten ist nach wie vor eine Domäne der Stereophotogrammetrie. Falls Laserscanner eingesetzt werden, ist unbedingt eine digitale Kamera zusätzlich erforderlich.

- Die Volumen-Veränderungen bei kleinen Deponien und Steinbrüchen wird man in Zukunft mit terrestrischen Laserscannern – möglichst mit erhöhten Standpunkten – überwachen.
- Topographische Datenbestände, die den Kartenmaßstäben 1:10000 bis 1:50000 entsprechen, werden nach wie vor mittels Stereophotogrammetrie erfasst. Hochauflösende Satellitenaufnahmen werden in diesem Bereich in Zukunft konkurrenzfähig werden.
- Naturbestandsaufnahmen, die dem Kartenmaßstab 1:5000 entsprechen (DGM $\pm 1\text{m}$, Situation $\pm 1\text{m}$, Orthophoto-Pixel 25cm, Gebäudeklötzchen), werden vermutlich noch eine gewisse Zeit mit der Stereophotogrammetrie bearbeitet werden. Die Wende zum flugzeuggetragenen Laserscanning ist aber absehbar. Falls bereits digitale Orthophotos verfügbar sind und diese als Situationsauswertung akzeptiert werden, sollte man das noch erforderliche DGM aus flugzeuggetragenen Laserscanning mit einem Punktabstand von ca. 2m ableiten. Für die Gebäudeklötzchen ist allerdings ein Punktabstand von 1m erforderlich.
- Naturbestandsaufnahmen, die dem Kartenmaßstab 1:1000 entsprechen (DGM ± 10 bis 20cm, Situation $\pm 25\text{cm}$, Orthophoto-Pixel mit etwa einem Dezimeter bzw. dreidimensionale Photomodelle, CAD-Gebäudemodelle), wird man in den Hochwassergefährdungszonen (sehr oft starker Bewuchs) in Zukunft mit flugzeuggetragenen Laserscanning – eventuell kombiniert mit digitalen Zeilen- und/oder Flächenkameras – bearbeiten. Auch Stadtmodelle auf diesem hohen Qualitätsniveau können vermutlich – wenn die Methoden noch weiter ausgereift sind – in Zukunft sehr wirtschaftlich mit flugzeuggetragenen Laserscanning gewonnen werden. Die Datendichte

muss allerdings mindestens bei vier Punkten pro Quadratmeter liegen.

Am Ende dieses Vortrages wurde noch ein Szenario zum Monitoring tatsächlicher Hochwasserereignisse skizziert. Ein genaues DGM ist dafür Voraussetzung. Die Kosten für die DGM-Erstellung sind innerhalb solcher Katastrophenüberwachungen eine zweitrangige Frage. Das einschlägige Manuskript wird im Heft 12/2003 der Zeitschrift für raumbezogene Informationen und Entscheidungen (GeoBIT/GIS, Wichmann Verlag) publiziert werden.

Die umfangreichen Übungen zum Vorlesungsstoff, die wegen der großen Teilnehmeranzahl als Demonstrationen abgehalten wurden, haben teilweise die bereits genannten Vortragenden und teilweise folgende Personen betreut: Ch. Eberhöfer, Dipl.-Ing. S. Hofbauer, Dipl.-Ing. G. Mandlbürger, Dipl.-Ing. M. Trommler, Dr. C. Ressler (in seiner Hand lag auch die Organisation des gesamten Lehrgangs), Dipl.-Ing. B. Wöhrer und Mitarbeiter der Firma Riegl.

Ausblick

Das Laserscanning wird unser engeres und weiteres Fachgebiet umkrempeln. Das I.P.F. beteiligt sich intensiv daran. Die in der modernen Photogrammetrie entwickelten Prinzipien lassen sich weitgehend auf das Laserscanning übertragen. Zusätzlich setzt die Laserscanning-Technik viele neue Impulse. Ein Zusammenwachsen von Laserscanning und Photogrammetrie wird eintreten. Erfreulicherweise ist es gelungen, ein Christian-Doppler-Labor mit der Bezeichnung „Spatial Data from Laser Scanning and Remote Sensing“ zu gründen und dem I.P.F. anzugliedern. Die Professoren Wagner und Jansa sind die Leiter dieses Labors, das am 1. Dezember 2003 seinen Betrieb unter Einbeziehung von sechs privaten Unternehmungen aufgenommen hat. In diesem Labor und am I.P.F. werden die großen Herausforderungen, die im Laserscanning anstehen, aufgegriffen und sowohl in ihren Grundlagen als auch in ihrer Anwendung erforscht werden.