Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 94 (2003)
Heft: 9

Artikel: Laser-Scanner : ein Paradigmawechsel in der Photogrammetrie
Autor: Kraus, Karl
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-857549

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: 02.07.2025

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

Laser-Scanning – ein Paradigmawechsel in der Photogrammetrie

Das Laser-Scanning[1] hat sowohl die Geländeaufnahme als auch die Objekterfassung im Nahbereich revolutioniert. Man kann im Sinne des deutsch-amerikanischen Wissenschaftsphilosophen Thomas Kuhn (Kasten) von einem Paradigmawechsel sprechen. Es ist allerdings in erster Linie ein Paradigmawechsel in der Photogrammetrie[2], der gegenwärtig voll im Gange ist. Die Photogrammeter haben wesentliche Beiträge zur Auswertung der Laser-Scanner-Daten geleistet, etwa bei Stadt- und Geländemodellen, Kalibrierung und Georeferenzierung[3]. Im vorliegenden Beitrag wird – ausgehend von der Lasertechnik – ein gemeinsames Paradigma für Photogrammetrie und Fernerkundung vorgestellt, das die Denk- und Handlungsweise der beiden Disziplinen sehr eng zusammenführt.

Der Begriff «Paradigma» wird oft strapaziert (Kasten). Viele verbinden damit etwas Grundlegendes; man weiss aber nicht genau, was mit diesem Begriff zum Ausdruck gebracht werden soll. Im Folgenden soll daher unter einem Paradigma das (Denk-)Muster verstanden werden, das einer Disziplin – beispielsweise der Photogrammetrie – dient, während ein Paradigmawechsel das Ersetzen eines (Denk-)Musters durch ein weit gehend neues (Denk-)Muster bedeuten soll.

Karl Kraus

Paradigmen der Photogrammetrie und des Laser-Scannings

Das am stärksten ausgeprägte Paradigma[4] in der Photogrammetrie ist die geometrische Rekonstruktion der Objekte im dreidimensionalen Raum aus mindestens zwei Aufnahmen. Eine Aufnahme definiert dabei ein Bündel von Richtungen (Strahlenbündel). Ein Objektpunkt ist im dreidimensionalen Raum rekonstruierbar, wenn er mindestens von zwei Strahlen getroffen wird. Die Strahlen – durch das Licht der Sonne erzeugt – werden von passiven Sensoren registriert.

Dieses Grundmuster der (bisherigen) Photogrammetrie zeigt Bild 1. Im Sinne eines Paradigmas ist es dabei gleichgültig, ob beispielsweise

- die Aufnahmen auf Film oder mittels einer elektronischen Bildaufzeichnung erfolgen;
- die elektronische Bildaufzeichnung in einem zweidimensionalen Detektorfeld oder in einer eindimensionalen Detektorzeile erfolgt;
- die Messung der Bildpunkte stereoskopisch von einem Menschen oder digital mit einem automatisch arbeitenden Korrelationsalgorithmus erfolgt;
- eine dritte Aufnahme vom gleichen Objektpunkt vorhanden ist (Multimatching[5] in der digitalen Photogrammetrie);
- eine (kalibrierte) Messkamera oder eine (unkalibrierte) Amateurkamera eingesetzt wird;
- die Lage der Aufnahmeorte und die Stellung der Aufnahmen aus Pass- und Verknüpfungspunkten[6] oder aus GPS[7]- und IMU[8]-Aufzeichnungen ermittelt werden;
- das (natürliche) Sonnenlicht durch künstliches Licht – etwa für Nahbereichsaufnahmen – ersetzt wird.

Wie bei der Photogrammetrie steht auch beim Laser-Scanning die geometrische Rekonstruktion der Objekte im dreidimensionalen Raum – hier allerdings nur aus mindestens einer Aufnahme – als am stärksten ausgeprägtes Paradigma im Vordergrund. An die Stelle eines Strahlenbündels tritt ein Bündel von Richtungen und Entfernungen, d.h. von Vektoren. An die Stelle passiver Sensoren treten aktive Sensoren. GPS-Positionierung und IMU-Orientierung werden – im Flugzeugeinsatz – essenziell. Das Verknüpfen von zwei und mehr Aufnahmen zu einem Verband ist schwierig, da in den Laser-Scanner-Aufnahmen die Verknüpfungspunkte nur ungenau lokalisiert werden können.

Das Grundmuster des Laser-Scannings ist in Bild 2 dargestellt. Im Sinne eines Paradigmas ist es dabei gleichgültig, ob beispielsweise

- die Entfernungen mittels Impuls-Laufzeitmessung oder mittels Phasen-Vergleich bestimmt werden;
- die Abtastung mit einem Schwingspiegel, einem rotierenden Spiegel oder mit einer Glasfaserzeile[9] erfolgt;

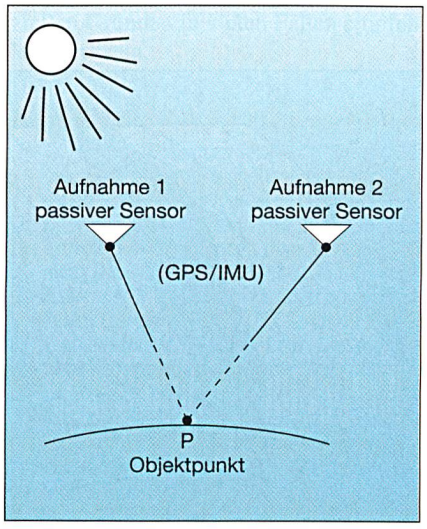

Bild 1 Grundmuster der bisherigen Photogrammetrie

GPS: Global Positioning System; IMU: Inertial Measurement Unit

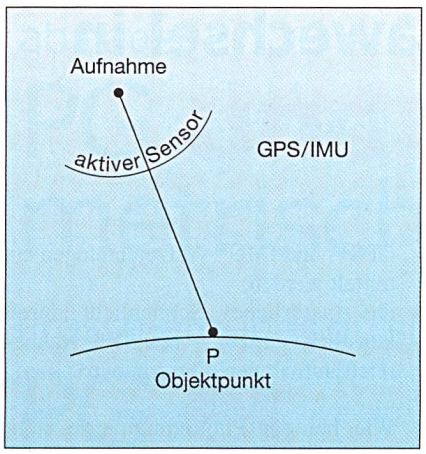

Bild 2 Grundmuster des Laser-Scannings bzw. der neuzeitlichen Photogrammetrie
GPS: Global Positioning System; IMU: Inertial Measurement Unit

- der erste oder der letzte (reflektierte) Impuls registriert wird;
- man sich bei der Erfassung der Objektpunkte nur mit einer Aufnahme begnügt oder doch überlappende Aufnahmen – wegen einer etwaigen Verknüpfung und/oder zur Überwindung sichttoter Räume – anstrebt;
- noch die ursprüngliche profilweise Erfassung in Flugrichtung oder die gegenwärtig weit verbreitete Erfassung mittels Scanner quer zur Flugrichtung erfolgt.

Das Laser-Scanning-Paradigma ist schon längere Zeit ein bekanntes Paradigma in der Fernerkundung; dort spricht man von Lidar (Light Detection and Ranging[10]). Auch das in Bild 1 skizzierte Paradigma ist ein Paradigma der Fernerkundung. Wenn allerdings geometrische Problemstellungen im Vordergrund stehen, spricht man auch bei der Fernerkundung von Photogrammetrie. In gleicher Weise sollte auch das in Bild 2 skizzierte Paradigma als Paradigma der Photogrammetrie angesehen werden. Dieses in Bild 2 dargestellte Paradigma wird immer mehr das Paradigma aus Bild 1 ablösen. Dieser Paradigmawechsel ist in der Photogrammetrie voll im Gange, wobei vor allem die Anwender die treibende Kraft sind.

Beiträge der Photogrammetrie zum Laser-Scanning

Hierbei geht es um Beiträge, die aus einer eher geometrisch geprägten Sicht entstanden sind bzw. entstehen. Sie beziehen sich zwangsläufig auf die Auswertung der Laser-Scanner-Daten und nicht auf die Sensoren.

Sowohl Laser-Scanning als auch das Matching in der digitalen Photogrammetrie liefern eine Punktwolke. Es ist daher nicht überraschend, dass Photogrammeter, die sich mit dem Matching intensiv befasst haben bzw. befassen, sich auch der Auswertung der Laser-Scanner-Daten angenommen haben. Aus solchen Punktwolken werden beispielsweise Gebäude modelliert [1, 2, 3].

Das Laser-Scanning in Europa hat zweifelsohne die grössten Impulse durch den Sonderforschungsbereich SFB 228[11] der Deutschen Forschungsgemeinschaft erfahren – verschiedene daraus entstandene Publikationen beispielsweise waren bahnbrechend für den Einsatz der Laser-Technik in Waldgebieten [4].

Am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien (I.P.F.) wurde ein Algorithmus zur Interpolation von Geländemodellen aus photogrammetrischen Daten entwickelt, der sich besonders dadurch auszeichnet, dass die zufälligen Messfehler weit gehend eliminiert – d.h. herausgefiltert – werden können [5]. Dieser Interpolations- und Filteralgorithmus musste dabei auf die Spezifika der Laser-Scanner-Daten – beispielsweise liegen die fehlerhaften Laserpunkte vorwiegend über dem Gelände in der Vegetation – angepasst werden, was durch die Einführung einer schiefen und exzentrischen Fehlerverteilung[12] in die robuste Schätzung erreicht werden konnte [6, 7[13], 8, 9, 10]. Weitere Publikationen befassen sich ebenfalls mit der Ermittlung von Geländemodellen aus Laser-Scanner-Daten [11, 12, 13, 14].

Simultane Höheneinpassung der Laser-Scanner-Streifen in das globale Koordinatensystem[16]

Die GPS-Positionierung und die IMU-Orientierung erlauben – bei einer (bekannten) Referenzstation und bei Kenntnis des Geoids[14] – eine direkte Georeferenzierung. Verschiedene Einflüsse, z.B. Drifts in der IMU-Orientierung[15], führen zu systematischen Fehlern. Von der Photogrammetrie sind solche Phänomene aus der Streifentriangulation bekannt, dessen Grundprinzip in Bild 3 anhand der Höheneinpassung dargestellt ist [15].

Simultane Einpassung frei gewählter terrestrischer Laser-Scanner-Standpunkte[16]

Auch für terrestrische Laser-Scanner-Daten, die von festen Standpunkten aus aufgenommen werden, kann ein Denkmuster aus der Photogrammetrie ein interessantes Auswerteverfahren bieten. Terrestrische Laser-Scanner liefern standpunktweise Punktwolken in lokalen Koordinatensystemen (z.B. $x_2y_2z_2$ für den

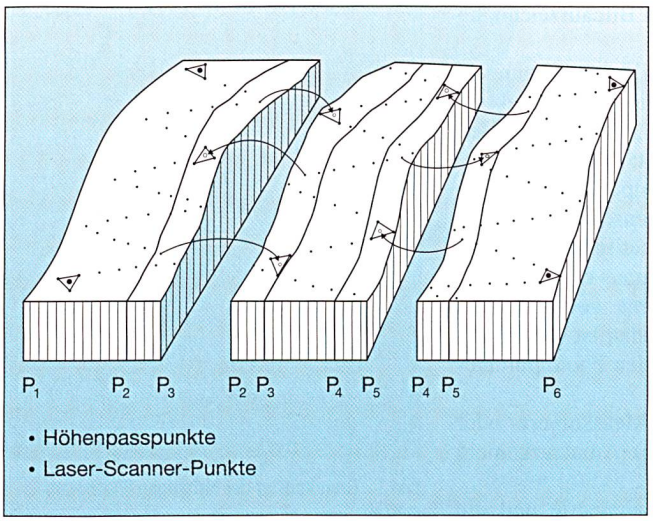

Bild 3 Simultane Höheneinpassung von überlappenden Laser-Scanner-Streifen in das globale Koordinatensystem. P_i: Geradlinige Geländeprofile

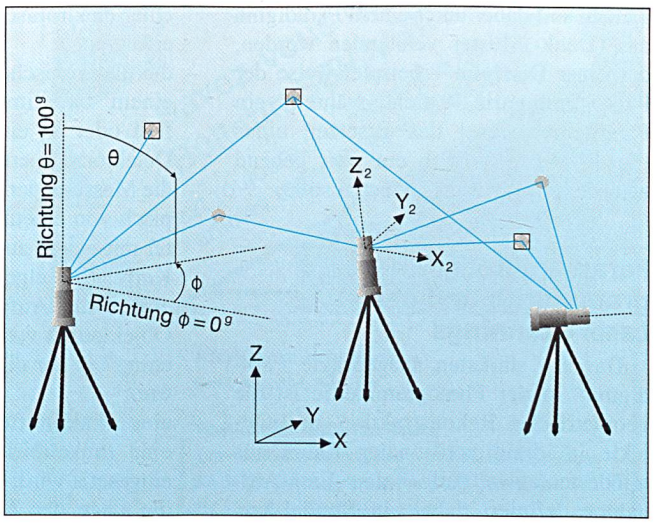

Bild 4 Blockausgleichung mit «unabhängigen Modellen»

Standpunkt 2 in Bild 4). Jede einzelne Punktwolke könnte man – mit Hilfe von zusätzlichen Messungen – in das übergeordnete XYZ-Kooridinatensystem überführen. So wie man aber bei der terrestrischen Photogrammetrie immer mehr davon abkommt, die Aufnahmeorte mit zusätzlichen Messungen zu bestimmen und stattdessen eine so genannte Phototriangulation mit Verknüpfungs- und Passpunkten vornimmt, sollte man auch die Laser-Scanner-Standpunkte einer Blockausgleichung[17] mit «unabhängigen Modellen» unterwerfen. Das entsprechende Prinzip ist in Bild 4 dargestellt. Ein Modell entspricht einem Laser-Scanner-Standpunkt[18].

Ableitung von Strukturelementen aus Laser-Scanner-Daten[16]

Die grösste Schwäche der gegenwärtigen Laser-Scanner ist, dass man nur Punktwolken und keine Strukturelemente, wie beispielsweise Geländekanten, erhält. Mit raffinierten Methoden können aber – auf Umwegen – trotzdem Strukturelemente abgeleitet werden.

Das I.P.F., aber auch andere Gruppen, bemühen sich gegenwärtig, Geländekanten aus Laser-Scanner-Daten zu extrahieren. Eine solche Kantenextraktion kann nicht mit den Methoden der digitalen Bildverarbeitung, die in zweidimensionalen Bildern automatisch (Kontrast-) Kanten finden, erfolgen, sondern es sind Methoden für eine 2.5-D-Kantenextraktion[19] gefragt. Mit solchen Problemstellungen sind Photogrammeter besser vertraut als andere Berufsgruppen.

Gemeinsames Paradigma für Photogrammetrie und Fernerkundung als Ausblick

Der letzte Abschnitt hat aufgezeigt, wie hilflos man in einem reinen Entfernungsbild ist. Das gegenwärtige Laser-Scanning liefert nur Richtungen und Entfernungen, aus denen – im Flugzeugeinsatz – ein Bild von Höhenwerten abgeleitet wird. Von der aufgenommenen Landschaft hat man somit lediglich die Höhenwerte.

Bei der Fernerkundung spielt das Licht die zentrale Rolle. Die Fernerkundung, die Informationen über Art und Eigenschaften entfernter Objekte – unter anderem auch geometrische Eigenschaften – gewinnt, benutzt als Informationsträger die elektromagnetische Strahlung. Dabei werden passive Sensoren (zur Aufzeichnung natürlicher Strahlung von Sonne und Erde) und aktive Sensoren (zur Registrierung künstlich erzeugter Strahlung) eingesetzt.

Ein gemeinsames Paradigma für Photogrammetrie und Fernerkundung ist daher nötig. Es sollte die beiden Paradigmen, die in den Bildern 1 und 2 skizziert sind, vereinigen und die elektromagnetische Strahlung als Informationsträger in den Mittelpunkt stellen. Bild 5 ist der Versuch der Skizzierung eines gemeinsamen Paradigmas für Photogrammetrie und Fernerkundung (P&F-Paradigma). Wegen der oben angegebenen weiten Definition der Fernerkundung sollte man es allerdings besser F&P-Paradigma nennen.

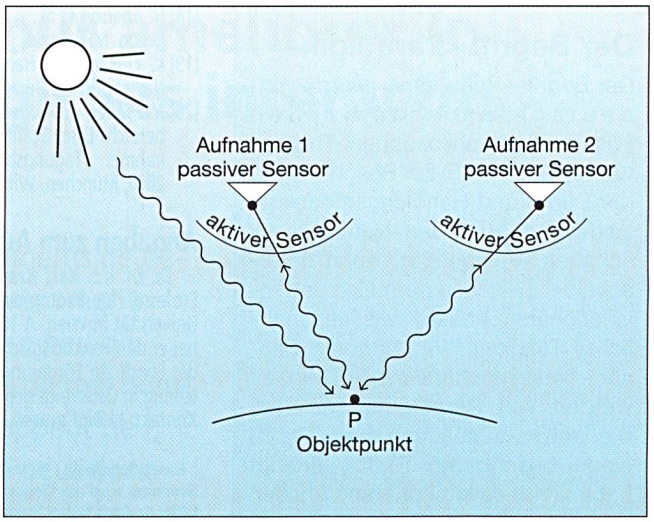

Bild 5 Gemeinsames Paradigma für Photogrammetrie und Fernerkundung

Das F&P-Paradigma gemäss Bild 5 ist einerseits eine Vereinigung der Bilder 1 und 2, d.h. des bisherigen und des neuen photogrammetrischen Paradigmas, und andererseits wurden die (geradlinigen) Richtungen der abbildenden Strahlen (Bild 1) und die (geradlinigen) Vektoren (Bild 2) durch symbolische (elektromagnetische) Wellen ersetzt. Die rein geometrische Sicht wird mit der physikalischen Sicht zusammengeführt.

Das F&P-Paradigma befriedigt die Fernerkundung und die Photogrammetrie in gleicher Weise. Das gemeinsame Paradigma ist für beide Disziplinen ein Paradigmawechsel im Vergleich zum gegenwärtigen Denk- und Handlungsmuster, denn

- zu jedem (Fernerkundungs-)Pixel gibt es auch ein «Spektrum» der Entfernungen, das mindestens aus dem ersten und letzten Impuls besteht;
- zu jedem (Photogrammetrie-)Pixel gibt es auch ein Spektrum der elektromagnetischen Strahlung, das – abhängig vom Sensor – von natürlicher und/oder künstlicher Strahlung geprägt ist;
- zu jedem Pixel gibt es im Allgemeinen mindestens ein zweites Pixel mit dem gleichen photogrammetrischen und fernerkundlichen Informationsgehalt, aber aufgenommen aus einer anderen Richtung.

Die zuletzt angedeutete Einschränkung auf nur ein Pixel von der jeweiligen Objektstelle und die gegenseitige Substitution der Komponenten des F&P-Paradigmas sind für die Praxis von grosser Wichtigkeit, denn das Laser-Scanning gestattet unter anderem beispielsweise die Objektrekonstruktion einerseits mit nur einem Aufnahmestrahl – was in bewaldeten oder eng bebauten Gebieten wichtig ist – und andererseits auch in Gebieten ohne Textur, wo die Stereophotogrammetrie versagt. Zudem ist man beim Laser-Scanning nicht an eine gute Beleuchtung der Landschaft durch die Sonne gebunden.

Die gerätetechnische Verwirklichung des in Bild 5 skizzierten F&P-Paradigmas – auf die an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden soll – wird von Firmen bereits angekündigt und sogar in Teillösungen bereits erprobt. Wissenschafter und Praktiker sollten sich der verschiedenartigen zukünftigen Nutzung der komplexen Datensätze bewusst sein. Diese Datensätze sollten möglichst simultan aufgenommen werden, aber auch eine zeitliche Versetzung bzw. eine Auswahl wird aus pragmatischen und finanziellen Gründen in vielen Fällen empfehlenswert sein.

Referenzen

[1] *W. Förstner, U. Weidner:* Towards Automatic Building Extraction from High-Resolution Digital Elevation Models. ISPRS-Journal 50 (4): 38–49, 1995.

[2] *H. Maas, G. Vosselman:* Two Algorithms for Extracting Building Models from Raw Laser Altimetry Data. ISPRS-Journal 54 (2-3): 153-163, 1999.

[3] *G. Brenner, N. Haala:* Rapid Production of Virtual Reality City Models. GIS 12 (2): 22–28, 1999.

[4] *F. Ackermann, M. Englich, J. Kilian:* Die Laser-Profil-Befliegung «Gammertingen 1992». ZfV 119 (5): 264–277, 1994.

[5] *K. Kraus:* Photogrammetrie. Band 3 (Topographische Informationssysteme). 1. Aufl., 419 S., Dümmler Verlag, Köln, 2000.

[6] *Ch. Briese, K. Kraus, G. Mandlburger, N. Pfeifer:* Einsatzmöglichkeiten der flugzeuggetragenen Laser-Scanner. Mitteilungen des Institutes für Geodäsie der Uni Innsbruck, Heft 19: 17–26, 2001a.

[7] *Ch. Briese, P. Belada, N. Pfeifer:* Digitale Geländemodelle im Stadtgebiet aus Laser-Scanner-Daten.

Der Begriff «Paradigma»

Der Begriff «Paradigma» wurde vom deutsch-amerikanischen Wissenschaftsphilosophen Thomas Kuhn (1922–1996) zur Beschreibung der Denk- und Handlungsmodelle – insbesondere in den Naturwissenschaften – eingeführt. Kuhn unterscheidet zwischen normalen und revolutionären Phasen wissenschaftlicher Tätigkeit [16]. Normale Phasen wissenschaftlicher Tätigkeit werden von Paradigmen geleitet, die durch Ausbildung und Praxis einen besonderen Status erlangt haben. In revolutionären Phasen wissenschaftlicher Tätigkeit kommt es zu einem totalen Wechsel dieser Paradigmen; in diesen Phasen ist das Wissen neu zu organisieren[20]. Einen Paradigmawechsel in den Ingenieur- und Naturwissenschaften hat zum Beispiel der Computer gebracht [17]; es sind computerbasierte Paradigmen entstanden, die teilweise die reinen mathematischen Modelle abgelöst und zu neuen «Wahrheiten»[21] geführt haben [18].

Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation 89 (2): S. 83–91, 2001b.

[8] *K. Kraus*: Eine neue Methode zur Interpolation und Filterung von Daten mit schiefer Fehlerverteilung. Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation 85 (1): 25–30, 1997.

[9] *K. Kraus, N. Pfeifer:* Determination of Terrain Models in Wooded Areas with Airborne Laser Scanner Data. ISPRS Journal 53 (4): 193–203, 1998.

[10] *N. Pfeifer, P. Stadler, Ch. Briese:* Derivation of Digital Terrain Models in the SCOP++ Environment. Proceedings of OEEPE Workshop on Airborne Laserscanning and Interferometric SAR for Detailed Digital Terrain Models, Stockholm, Sweden, 2001.

[11] *P. Axelsson:* DEM Generation from Laser Scanner Data Using Adaptive Tin Models. Int. Archives of Ph. and RS, XXXIII (B4), ISPRS-Congress, Amsterdam, 2000.

[12] *W. Hansen, T. Vögtle:* Extraktion der Geländeoberfläche aus flugzeuggetragenen Laserscanner-Aufnahmen. PFG 1999 (4): 229–236, 1999.

[13] *P. Lohmann, A. Koch, M. Schaeffer:* Approaches to the Filtering of Laser Scanner Data. Int. Archives of Ph. and RS, XXXIII (B3), ISPRS-Congress, Amsterdam, 2000.

[14] *G. Vosselman:* Slope based filtering of laser altimetry data. Int. Archives of Ph. and RS, XXXIII, (B3/29), ISPRS-Congress, Amsterdam, 2000.

[15] *H. Krager, K. Kraus:* Height Discrepancies between Overlapping Laser Scanner Strips – Simultaneous Fitting of Aerial Laser Scanner Strips. Proceedings of the 5th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques, Vienna (Grün/Kahmen Eds.), pp. 103–110, 2001.

[16] *T. Kuhn:* The Structure of Scientific Revolutions. 2nd Edition Univ. of Chicago Press, 1962.

[17] *M. Schmutzer:* Ingenium und Individuum. 1. Aufl., 472 S., Springer-Verlag Wien New York, 1994.

[18] *H. Abelson et al.:* A New Era in Scientific Computation. MIT, Comp. Lab., Mimeo, 1986.

[19] *K. Linkwitz, U. Hangleiter, Eds.:* High Precision Navigation 95. Dümmler Verlag, Bonn.

[20] *N. Pfeifer, K. Kraus, R. Schwarz, A. Ullrich:* Nahbereichs-Laser-Scanner für die Innenraum-Aufnahme. Tagungsband Ingenieurvermessung 2000, München, Wittwer-Verlag, 2000.

Angaben zum Autor

Dr. Dr. h.c. ***Karl Kraus*** ist seit 1974 ordentlicher Professor für Photogrammetrie an der Technischen Universität in Wien, A-1040 Wien. Von 1985 bis 1991 hat er den Forschungsschwerpunkt «Fernerkundung» des Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung in Österreich geleitet.
Kontakt: kk@ipf.tuwien.ac.at

[1] Laser-Scanning: Beim flugzeuggetragenen Laser-Scanning wird das Gelände quer zur Flugrichtung abgetastet und mit hoher Frequenz werden die Entfernungen aus gepulsten und stark gebündelten Laserstrahlen ermittelt. Beim terrestrischen Laserscanning ist der Standpunkt stationär. Der Abtastvorgang geschieht durch systematische Ablenkung des Laserstrahls.

[2] Photogrammetrie: Die Lage und Form von Objekten werden aus speziellen Photographien rekonstruiert.

[3] Georeferenzierung: Überführung der sensorbezogenen Daten in ein auf der Erde festgelegtes globales Koordinatensystem.

[4] Ein Paradigma und noch mehr ein Paradigmawechsel hängen weit gehend von einer persönlichen Sicht bzw. von der Sicht der jeweiligen Fachdisziplin ab. Ein Paradigmawechsel in der Theorie der Auswertetechnik muss zum Beispiel noch lange kein Paradigmawechsel in der Sensorentwicklung sein und umgekehrt. Dieser Beitrag ist von der Sicht des Autors – mit seiner Ausbildung und seinem wissenschaftlichen Umfeld – auf die Paradigmen und auf etwaige Paradigmenwechsel geprägt.

[5] Matching: Automatisch arbeitende Korrelationsmethode für die Zuordnung entsprechender Bildstellen in zwei Aufnahmen; Multimatching bezieht mehr als zwei Aufnahmen in diesem Prozess ein.

[6] Pass- und Verknüpfungspunkte: Von einem Passpunkt kennt man die Koordinaten im globalen (erdfesten) Koordinatensystem. Von einem Verknüpfungspunkt kennt man die globalen Koordinaten nicht; mit Hilfe von (vielen) Verknüpfungspunkten werden die Einzelbilder zu einem Bildverband verschmolzen und mit (wenigen) Passpunkten wird der gesamte Bildverband in das globale Koordinatensystem transformiert.

[7] GPS: Global Positioning System

[8] IMU: Inertial Measurement Unit. Diese an den Aufnahmesensoren angebrachte Vorrichtung registriert zum Aufnahmezeitpunkt Beschleunigung und Winkel des Systems im Raum. Der Einsatz von Zeilenscannern wird hiermit praktikabel, weil jede Zeile referenziert werden kann. Bei einer Flughöhe von beispielsweise 2000 m ist eine Genauigkeit von etwa 20 cm am Boden erreichbar.

[9] Glasfaserzeile: Sensor, der aus einer Zeile von nebeneinander angeordneten Detektoren besteht.

[10] Ranging: Entfernungsmessung mit elektromagnetischen Wellen.

[11] SFB: Sonderforschungsbereich. SFB 228: Hochgenaue Navigation – Integration navigatorischer und geodätischer Messmethoden. Ende 1995 abgeschlossen [19]

[12] Schiefe und exzentrische Fehlerverteilung: Anstelle der üblicher Weise verwendeten Gauss'schen Normalverteilung der zufälligen Messfehler wird eine unsymmetrische (schiefe) und eine im Nullpunkt verschobene (exzentrische) Verteilung gewählt.

[13] In dieser Publikation sind auch Genauigkeiten von Geländemodellen in Stadtgebieten enthalten. Im Mittel beträgt die Genauigkeit ±7 cm. Auf verkehrsfreien Strassen erreicht man sogar eine Genauigkeit von ±1,0 cm; das Laser-Scanning ist also der Präzisionsphotogrammetrie zuzuordnen.

[14] Geoid: (gekrümmte) Fläche, die in jedem ihrer Punkte normal zu der jeweiligen Richtung der Schwerkraft verläuft. Auf der Erde ist diese Fläche durch die Oberfläche des Weltmeeres gegeben (mittlere Lage, ohne Gezeiten und Strömungen), das man sich unter den Kontinenten fortgesetzt zu denken hat. Diese Fläche ist auf der ganzen Erde eindeutig definierbar. Auf diese Weise wird die Massenverteilung der Erdoberfläche approximativ durch das Geoid berücksichtigt. Seine Oberfläche ist eine schwach wellige Fläche.

[15] Drifts in der IMU-Orientierung: Der Fehler der Inertialsysteme wächst in Abhängigkeit von der Zeit; dieser Effekt wird auch als Drift bezeichnet.

[16] Bei diesen Beiträgen handelt es sich um am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien (I.P.F.) durchgeführte Arbeiten.

[17] Blockausgleichung: Die einzelnen Punktwolken, die in individuellen lokalen Koordinatensystemen festgelegt sind, werden zu einem Block – mit Hilfe der Verknüpfungspunkte – verschmolzen und – mit Hilfe der Passpunkte – in ein übergeordnetes Koordinatensystem transformiert.

[18] Resultate einer solchen Blockausgleichung hat das I.P.F. anhand einer Innenraumaufnahme im Schloss Schönbrunn bereits publiziert [20]. Ein grosses Problem war dabei die Identifizierung von Verknüpfungspunkten in den Punktwolken der Laser-Scanner-Daten. Mit speziellen Marken, die im Innenraum angebracht wurden und die in den zusätzlich vorhandenen Intensitätsbildern identifiziert werden konnten, wurde dieses Problem gelöst.

[19] 2.5-D-Kantenextraktion: Die Kantenextraktion sollte im dreidimensionalen (3D) Raum mit den XYZ-Koordinaten der Laserpunkte erfolgen. Die Problemstellung vereinfacht sich, wenn es keine Überhänge im Gelände gibt. Für diese Einschränkung hat sich der Begriff 2.5-dimensional (2.5 D) eingebürgert.

[20] Die deutschsprachigen Formulierungen orientieren sich an [17].

[21] Bei den Vorbereitungen zu diesem Beitrag ist der Autor auf eine Äusserung von Max Planck gestossen, der gesagt haben soll: «Die Wahrheit triumphiert nie, ihre Gegner sterben nur aus.»

Laser-Scanning – un changement de paradigme en photogrammétrie

Le Laser-Scanning a révolutionné tant le relevé de terrains que la saisie des objets à courte distance. On peut véritablement parler, comme le philosophe scientifique germano-américain Thomas Kuhn (encadré) d'un changement de paradigme. Or, c'est surtout en photogrammétrie qu'un changement de paradigme est en train de se produire. Les photogrammètres ont apporté d'importantes contributions à l'évaluation des données fournies par le scanner à laser, par exemple dans les modèles de villes et terrains, le calibrage et le géoréférencement. L'article présente sur la base de la technique laser un paradigme commun pour la photogrammétrie et l'exploration à distance, qui rapproche fortement les manières de penser et d'agir des deux disciplines.