

Laser-Scanning – Ein Paradigma-Wechsel in der Photogrammetrie

KARL KRAUS^[1]

Zusammenfassung: Das Laser-Scanning hat sowohl die Geländeaufnahme als auch die Objekterfassung im Nahbereich revolutioniert. Man kann im Sinne des deutsch-amerikanischen Wissenschaftsphilosophen Thomas Kuhn von einem Paradigma-Wechsel sprechen. Es ist in erster Linie ein Paradigma-Wechsel in der Photogrammetrie, der gegenwärtig voll im Gange ist. Die Photogrammeter haben wesentliche Beiträge zur Auswertung der Laser-Scanner-Daten geleistet (Stadt- und Geländemodelle, Kalibrierung und Georeferenzierung, etc.). Zum Schluss wird – ausgehend von der Lasertechnik - ein gemeinsames Paradigma für Photogrammetrie und Fernerkundung vorgestellt, das die Denk- und Handlungsweise der beiden Disziplinen sehr eng zusammenführt.

1 Vorbemerkungen

Der Begriff „Paradigma“ (engl. *paradigm*) ist viel strapaziert. Viele Leute verbinden damit etwas Grundlegendes; man weiß aber nicht genau, was mit diesem Begriff zum Ausdruck gebracht werden soll.

Der Begriff „Paradigma“ wurde von dem deutsch-amerikanischen Wissenschaftsphilosophen Thomas Kuhn (1922 bis 1996) zur Beschreibung der Denk- und Handlungsmodelle – insbesondere in den Naturwissenschaften – eingeführt. Kuhn (1962) unterscheidet zwischen normalen und revolutionären Phasen wissenschaftlicher Tätigkeit. 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 revolutionären Phasen ist das Wissen neu zu organisieren^[2].

Einen Paradigma-Wechsel in den Ingenieur- und Naturwissenschaften hat zum Beispiel der Computer gebracht (Schmutzer, 1994); es sind computerbasierte Paradigmen entstanden, die teilweise die reinen mathematischen Modelle abgelöst und zu neuen „Wahrheiten“^[3] geführt haben (Abelson et al., 1986).

In der Photogrammetrie bin ich auf einen Aufsatz gestoßen, der das Denk- und Handlungsmodell der analytischen Photogrammetrie als ein Paradigma anspricht und der die digitale Photogrammetrie als einen Sprung im photogrammetrischen Paradigma sieht. Dieser Aufsatz stammt von Prof. Ackermann (1995). Ackermann ist bescheiden; er spricht in diesem Zusammenhang nämlich nur von einem Paradigmasprung oder Paradigma-Schub und nicht von einem Paradigma-Wechsel.

Bevor ausgeführt wird, dass meines Erachtens das Laser-Scanning durchaus als Paradigma-Wechsel in der Photogrammetrie bezeichnet werden kann, soll die Terminologie wie folgt konkretisiert werden:

- Paradigma: (Denk-)Muster, das einer Disziplin – zum Beispiel der Photogrammetrie – dient.
- Paradigma-Wechsel: Ersetzen eines (Denk-)Musters durch ein weitgehend neues (Denk-)Muster.

2 Paradigmen der Photogrammetrie und des Laser-Scannings

Zunächst ist die Frage zu beantworten, welches Paradigma in der Photogrammetrie am stärksten ausgeprägt ist. Meines Erachtens^[4] ist es die geometrische Rekonstruktion der Objekte im dreidimensionalen Raum aus mindestens zwei Aufnahmen. Eine Aufnahme definiert ein Bündel von Richtungen, das Strahlenbündel genannt wird. Ein Objektpunkt ist im dreidimensionalen Raum rekonstruierbar, wenn er **mindestens von zwei Richtungen** getroffen wird. Die Richtungen bzw. Strahlen – durch das Licht der Sonne erzeugt - werden von passiven Sensoren registriert.

Dieses **Grundmuster der (bisherigen) Photogrammetrie** zeigt Abb.1. Im Sinne eines Paradigmas ist es gleichgültig, ob

- 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 Operateur oder digital mit einem Korrelationsalgorithmus erfolgt,
- eine dritte Aufnahme vom gleichen Objektpunkt vorhanden ist (*Multimatching* 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 Verknüpfungselementen (Bündelblockausgleichung) oder aus GPS- und IMU-Aufzeichnungen ermittelt werden,
- das (natürliche) Sonnenlicht durch künstliches Licht – für manche Nahbereichsaufgaben – ersetzt wird,
- etc.

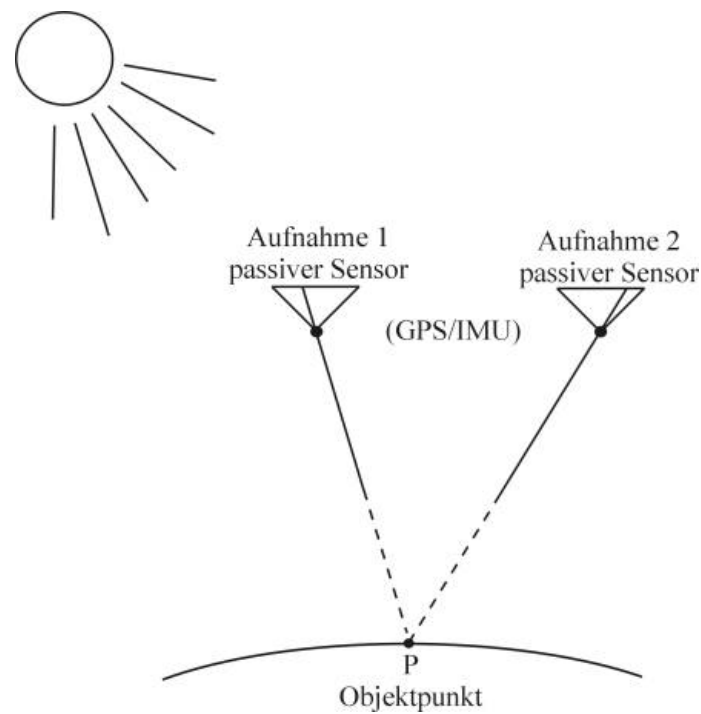


Abb. 1: Grundmuster der bisherigen Photogrammetrie

Nun steht die Frage an, welches Paradigma beim Laser-Scanning am stärksten ausgeprägt ist, m.a.W. welches Denkmuster liegt dem Laser-Scanning zugrunde. Wie bei der Photogrammetrie steht auch beim Laser-Scanning die geometrische Rekonstruktion der Objekte im dreidimensionalen Raum im Vordergrund, allerdings nicht aus mindestens zwei Aufnahmen sondern nur aus mindestens einer Aufnahme. 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 räumlichen Netzwerk ist schwierig und erfolgt deshalb nur ausnahmsweise.

Dieses **Grundmuster des Laser-Scannings** zeigt Abb.2 . Im Sinne eines Paradigmas ist es gleichgültig, ob

- die Entfernungen mittels Impuls-Laufzeitmessung oder mittels Phasen-Vergleich bestimmt werden,
- die Abtastung mit einem Schwingspiegel, einem rotierenden Spiegel oder mit einer Glasfaserzeile erfolgt,
- 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 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,
- etc.

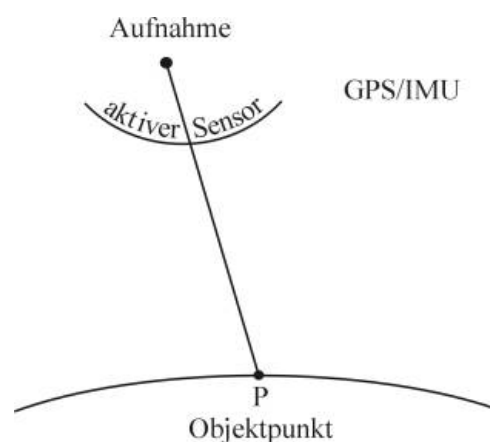


Abb. 2: Grundmuster des Laser-Scannings bzw. der neuzeitlichen Photogrammetrie

Das Paradigma des Laser-Scannings ist schon längere Zeit ein bekanntes Paradigma in der Fernerkundung. Dort spricht man von *Lidar* (*Light detection and ranging*). Auch das in Abb.1 skizzierte Paradigma ist ein Paradigma der Fernerkundung. Wenn allerdings geometrische Problemstellungen im Vordergrund stehen, spricht man nach wie vor von Photogrammetrie. In gleicher Weise sollte auch das in der Abb.2 skizzierte Paradigma als Paradigma der Photogrammetrie angesehen werden. Dieses Paradigma (Abb.2) wird immer mehr das Paradigma der Abb.1 ablösen. Dieser **Paradigma-Wechsel** ist in der Photogrammetrie voll im Gange.

Den angedeuteten Paradigma-Wechsel haben vor allem die Anwender zum Durchbruch verholfen. Ich möchte den Anwendern ein Kompliment für diese Risikobereitschaft und Aufgeschlossenheit für Neues aussprechen. In erster Linie war und ist die Praxis vom hohen Automationsgrad des Laser-Scannings angetan.

3 Beiträge der Photogrammetrie zum Laser-Scanning.

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

In Europa hat das Laser-Scanning zweifelsohne die größten Impulse durch den Sonderforschungsbereich SFB 228 (Hochgenaue Navigation) der Deutschen Forschungsgemeinschaft erfahren. Die Publikation (Ackermann et al., 1994) und die dort zitierten Publikationen waren bahnbrechend für den Einsatz der Laser-Technik in Waldgebieten. Die Ergebnisse ließen Wissenschaftler und Praktiker aufhorchen.

Das Laser-Scanning liefert eine Punktwolke, das *Matching* in der digitalen Photogrammetrie ebenfalls. Es ist daher nicht überraschend, dass Photogrammeter, die sich mit dem *Matching* intensiv befasst haben bzw. befassen, sich auch um die Auswertung der Laser-Scanner-Daten angenommen haben. Wie aus solchen Punktwolken Gebäude modelliert werden können, findet man unter anderem in den Publikationen von Förstner & Weidner (1995), Brenner & Haala (1999) und Maas & Vosselman (1999).

In der Folge sollen die Beiträge unseres Institutes, des Institutes für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien (I.P.F.), zum Laser-Scanning aufgezählt werden:

a) Geländemodelle in Stadt- und Waldgebieten

Der am I.P.F. seit langem verwendete Algorithmus zur Interpolation von Geländemodellen aus photogrammetrischen Daten zeichnet sich besonders dadurch aus, dass die zufälligen Messfehler weitgehend eliminiert - d.h. herausgefiltert - werden können (Kraus, 2000). Dieser Interpolations- und Filteralgorithmus war auf die Spezifika der Laser-Scanner-Daten anzupassen. Diese Anpassung konnte durch die Einführung einer schiefen und exzentrischen Fehlerverteilung in die robuste Schätzung erreicht werden (Kraus, 1997). Eine wesentliche Effizienz- und Leistungssteigerung konnte durch die vor kurzem vorgenommene Einführung von Datenpyramiden erzielt werden (Pfeifer et al., 2001).

Beispiele sind unter anderem in folgenden Publikationen zu finden: Kraus & Pfeifer (1998), Briese et al. (2001a), Briese et al. (2001b). In der zuletzt angegebenen 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.

Zur Abrundung dieser Anwendung sollen noch einige Publikationen erwähnt werden, die sich ebenfalls mit der Ermittlung von Geländemodellen aus Laser-Scanner-Daten befassen: Hansen & Vögtle, 1999, Lohmann et al., 2000, Vosselman, 2000, Axelsson, 2000).

b) Simultane Einpassung der Laser-Scanner-Streifen in das Landeskoordinatensystem

Die GPS-Positionierung und die IMU-Orientierung erlauben – bei einer (bekannten) Referenzstation und bei Kenntnis des Geoids – eine direkte Georeferenzierung. Verschiedene Einflüsse, z.B. Drifts in der IMU-Orientierung, führen zu systematischen Fehlern. Von der Photogrammetrie sind solche Phänomene aus der Streifentriangulation bekannt. Das Denkmuster der Streifentriangulation haben wir am I.P.F. zur simultanen Einpassung der Laser-Scanner-Streifen in das Landeskoordinatensystem übernommen. Abb. 3 zeigt das Grundprinzip anhand der Höheneinpassung. Details – insbesondere die Ermittlung der Streifen Verknüpfungselemente – findet man bei Kager & Kraus (2001). In einem Pilotprojekt im Oder-Gebiet konnte mit dieser Methode die Homogenität an den Streifenübergängen um den Faktor Zwei gesteigert werden (Brockmann & Mandlbürger, 2001).

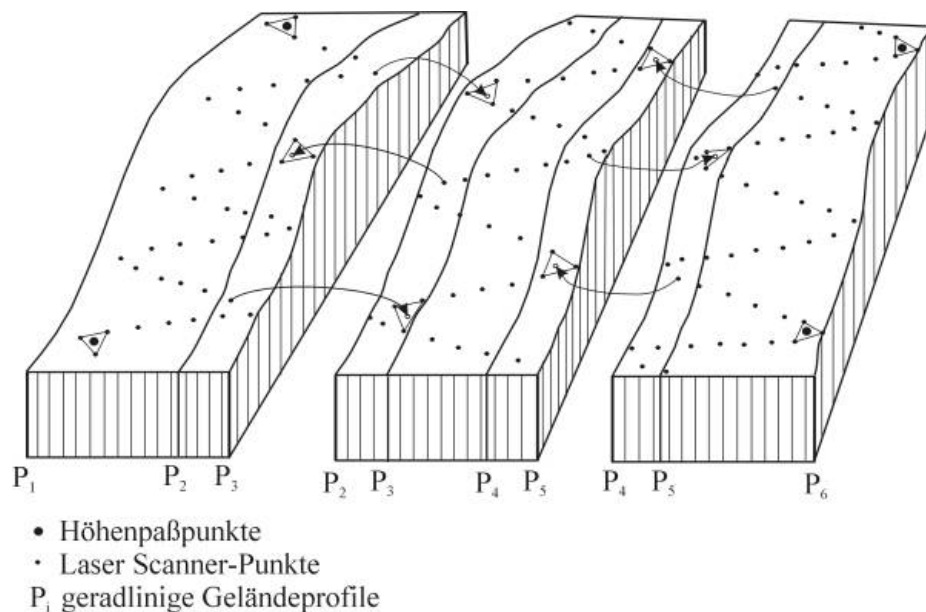


Abb. 3: Simultane Höheneinpassung von überlappenden Laser-Scanner-Streifen in das Landeskoordinatensystem

c) Simultane Einpassung frei gewählter terrestrischer Laser-Scanner Standpunkte

Auch für terrestrische Laser-Scanner kann ein Denkmuster aus der Photogrammetrie ein interessantes Auswerteverfahren bieten. Terrestrische Laser-Scanner liefern standpunktweise Punktwolken. Man könnte die Laser-Scanner-Standpunkte in einem Koordinatensystem einmessen. So, wie man aber bei der terrestrischen Photogrammetrie immer mehr davon bekommt, die Aufnahmeorte einzumessen und statt dessen eine Phototriangulation mit Verknüpfungs- und Passpunkten vornimmt, sollte man auch die Laser-Scanner-Standpunkte einer Blockausgleichung mit „unabhängigen Modellen“ unterwerfen. Das Prinzip zeigt Abb. 4. Ein Modell entspricht einem Laser-Scanner-Standpunkt mit seinen Polarkoordinaten. Resultate einer solchen Blockausgleichung haben wir anhand einer Innenraumaufnahme im Schloss Schönbrunn bereits publiziert (Pfeifer et al., 2000). Ein großes Problem ist 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.

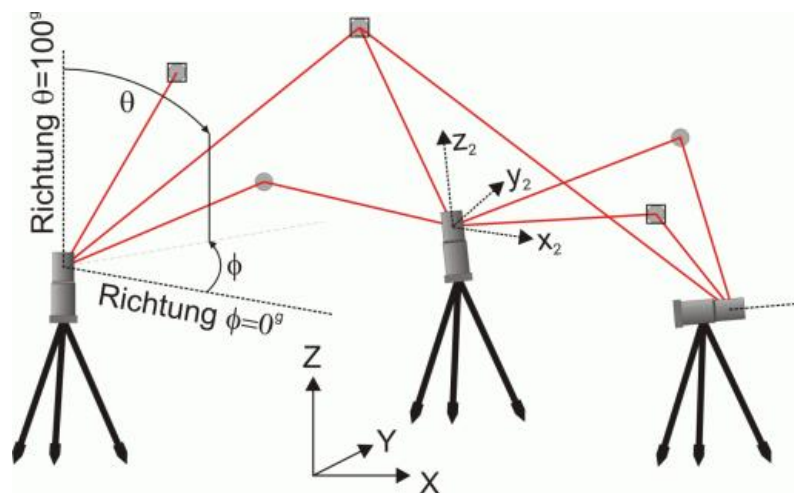


Abb. 4: Blockausgleichung mit „unabhängigen Modellen“

d) Ableitung von Strukturelementen aus Laser-Scanner-Daten

Die größte Schwäche der gegenwärtigen Laser-Scanner ist, dass man nur Punktwolken und keine Strukturelemente, wie zum Beispiel Geländekanten, erhält. Mit raffinierten Methoden können – 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 2.5D-Kantenextraktion gefragt. Mit solchen Problemstellungen sind Photogrammeter besser vertraut als andere Berufsgruppen.

Anhand eines anderen Strukturelementes, nämlich von Uferlinien, konnten wir, d.h. Herr Mandlbürger, zeigen, wie dreidimensionales Denken und Handeln zum Ergebnis führen. Diese Methode wurde anhand umfangreicher Beispiele für die Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, mit Erfolg erprobt (Brockmann & Mandlbürger, 2001).

4 Gemeinsames Paradigma für Photogrammetrie und Fernerkundung als Ausblick

Das zuletzt erwähnte Beispiel demonstriert, 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 die Höhenwerte, aber sonst nichts; es ist „Nacht“. So wie der Mensch für seine Aktivitäten das Licht schätzt, so muss auch das Laser-Scanning mit mehr Licht ausgestattet werden.

Bei der Fernerkundung spielt das Licht – als Sammelbegriff der elektromagnetischen Strahlung – 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 gesucht. Dieses gemeinsame Paradigma sollte die beiden Paradigmen, die in den Abb. 1 und 2 skizziert sind, vereinigen und die elektromagnetische Strahlung als Informationsträger in den Mittelpunkt stellen. Abb. 5 ist der Versuch der Skizzierung eines gemeinsamen Paradigmas für Photogrammetrie und Fernerkundung, eines P&F-Paradigmas. Wegen der oben angegebenen weiten Definition der Fernerkundung sollte man es besser F&P-Paradigma nennen.

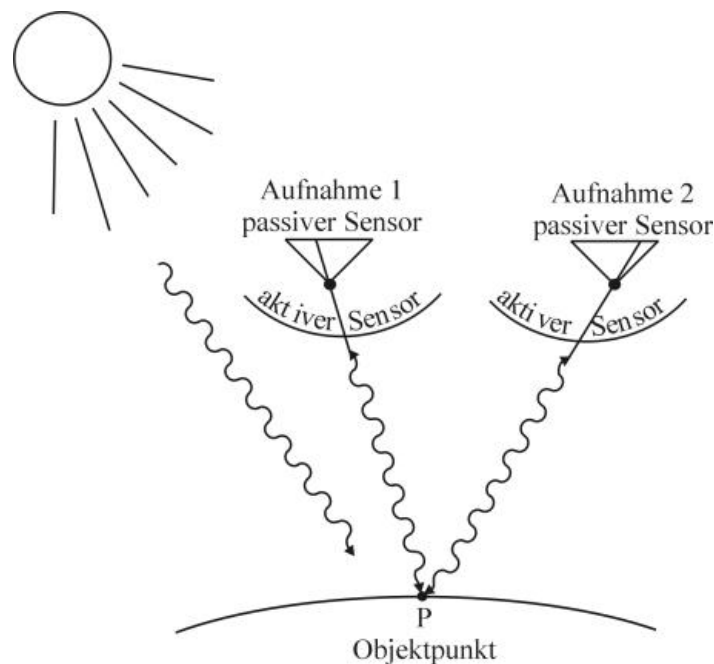


Abb. 5: Gemeinsames Paradigma für Photogrammetrie und Fernerkundung

Das F&P-Paradigma (Abb. 5) ist einerseits eine Vereinigung der Abb. 1 und 2, d.h. des bisherigen photogrammetrischen Paradigmas und des neuen photogrammetrischen Paradigmas, und andererseits wurden die (geradlinigen) Richtungen der abbildenden Strahlen (Abb. 1) und die (geradlinigen) Vektoren (Abb. 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 Paradigma-Wechsel** 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 auch die Objektrekonstruktion nur mit einem Aufnahmestrahle (wichtig in bewaldeten oder eng bebauten Gebieten),
- das Laser-Scanning gestattet die Objektrekonstruktion auch in Gebieten ohne Textur, wo die Stereophotogrammetrie versagt,
- beim Laser-Scanning ist man nicht an eine gute Beleuchtung der Landschaft durch die Sonne gebunden,
- etc.

Die gerätetechnische Verwirklichung des in der Abb. 5 skizzierten F&P-Paradigmas wird von Firmen bereits angekündigt und wird sogar in Teillösungen bereits erprobt. Es war nicht die Absicht dieses Vortrages, auf gerätetechnische Aspekte einzugehen. Es

sollten vielmehr die Wissenschaftler und Praktiker auf die verschiedenartige Nutzung der komplexen Datensätze der Zukunft aufmerksam gemacht werden. 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.

5 Literaturverzeichnis

- ABELSON, H., et al., 1986: A New Era in Scientific Computation. MIT, Comp. Lab., Mimeo.
- ACKERMANN, F., ENGLICH, M., KILIAN, J., 1994: Die Laser-Profil-Befliegung „Gammertingen 1992“. ZfV **119** (5): 264-277.
- ACKERMANN, F., 1995: Digitale Photogrammetrie – ein Paradigma-Sprung. ZPF **63** (3): 106-115.
- AXELSSON, P., 2000: DEM Generation from Laser Scanner Data Using Adaptive Tin Models. Int. Archives of Ph. and RS, XXXIII (B4), ISPRS-Congress, Amsterdam.
- BRENNER, G., HAALA, N., 1999: Rapid Production of Virtual Reality City Models. GIS **12** (2): 22-28.
- BRIESE, Ch., KRAUS, K., MANDLBURGER, G., PFEIFER, N., 2001a: Einsatzmöglichkeiten der flugzeuggetragenen Laser-Scanner. Mitteilungen des Institutes für Geodäsie der Uni Innsbruck, Heft 19: 17-26.
- BRIESE, Ch., BELADA, P., PFEIFER, N., 2001b: Digitale Geländemodelle im Stadtgebiet aus Laser-Scanner-Daten. Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation **89** (2): im Druck und in diesem Tagungsband.
- BROCKMANN, H., MANDLBURGER, G., 2001: Aufbau eines Digitalen Geländemodells vom Wasserlauf der Grenzoder. In diesem Tagungsband.
- FÖRSTNER, W., WEIDNER, U., 1995: Towards Automatic Building Extraction from High-Resolution Digital Elevation Models. ISPRS-Journal **50** (4): 38-49.
- HANSEN, W., VÖGTLE, T., 1999: Extraktion der Geländeoberfläche aus flugzeuggetragenen Laserscanner-Aufnahmen. PFG 1999 (4): 229-236.
- KAGER, H., KRAUS, K., 2001: 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, in print.
- KRAUS, K., 1997: Eine neue Methode zur Interpolation und Filterung von Daten mit schiefer Fehlverteilung. Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation **85** (1): 25-30.
- KRAUS, K., PFEIFER, N., 1998: Determination of Terrain Models in Wooded Areas with Airborne Laser Scanner Data. ISPRS Journal **53** (4): 193-203.
- KRAUS, K., 2000: Photogrammetrie. Band 3 (Topographische Informationssysteme). – 1. Aufl., 419 S., Dümmler Verlag, Köln.
- KUHN, T., 1962: The Structure of Scientific Revolutions. 2nd Edition Univ. of Chicago Press.
- LOHMANN, P., KOCH, A., SCHAEFFER, M., 2000: Approaches to the Filtering of Laser Scanner Data. Int. Archives of Ph. and RS, XXXIII (B3), ISPRS-Congress, Amsterdam.
- MAAS, H., VOSELNMAN, G., 1999: Two Algorithms for Extracting Building Models from Raw Laser Altimetry Data. ISPRS-Journal **54** (2-3): 153-163.
- PFEIFER, N., KRAUS, K., SCHWARZ, R., ULLRICH, A., 2000: Nahbereichs-Laser-Scanner für die Innenraum-Aufnahme. Tagungsband Ingenieurvermessung 2000, München, Wittmer-Verlag.
- PFEIFER, N., STADLER P., BRIESE, Ch., 2001: 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.
- SCHMUTZER, M., 1994: Ingenium und Individuum. – 1. Aufl., 472 S., Springer-Verlag Wien New York.
- VOSELNMAN, G., 2000: Slope based filtering of laser altimetry data. Int. Archives of Ph. and RS, XXXIII, (B3/29), ISPRS-Congress, Amsterdam.

[1] Prof. Dr. K. Kraus, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien, Gusshausstrasse 27-29, A-1040 Wien, e-mail: kk@ipf.tuwien.ac.at

[2] Die deutschsprachigen Formulierungen orientieren sich an Schmutzer (1994).

[3] Bei meinen Vorbereitungen bin ich auf eine Äußerung von Max Planck gestoßen, der gesagt haben soll: „Die Wahrheit triumphiert nie, ihre Gegner sterben nur aus.“

[4] Ein Paradigma und noch mehr ein Paradigmawechsel hängen weitgehend 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 meiner Sicht – mit meiner Ausbildung und meinem wissenschaftlichen Umfeld – auf die Paradigmen und auf etwaige Paradigmen-Wechsel geprägt.