

Mustererkennung in der Fernerkundung

WOLFGANG FÖRSTNER¹

Zusammenfassung: Der Beitrag beleuchtet die Forschung in Photogrammetrie und Fernerkundung unter dem Blickwinkel der Methoden, die für die Lösung der zentrale Aufgabe beider Fachgebiete, der Bildinterpretation, erforderlich sind, sowohl zur Integration beider Gebiete, wie zu einer effizienten Gestaltung gemeinsamerer Forschung. Ingredienzien für erfolgreiche Forschung in diesem Bereich sind Fokussierung auf Themen, die in ca. eine Dekade bearbeitet werden können, enge Kooperation mit den fachlich angrenzenden Disziplinen – der Mustererkennung und dem maschinellen Lernen – , kompetitives Benchmarking, Softwareaustausch und Integration der Forschungsthemen in die Ausbildung. Der Beitrag skizziert ein Forschungsprogramm mit den Themen ‚Mustererkennung in der Fernerkundung‘ und ‚Interpretation von LIDAR-Daten‘ das, interdisziplinär ausgerichtet, die Photogrammetrie mit den unmittelbaren Nachbardisziplinen zunehmend verweben könnte, und – nach Ansicht des Autors – zur Erhaltung der Innovationskraft auch dringend erforderlich ist.

1 Einleitung

Die methodischen Probleme in Photogrammetrie und Fernerkundung überlappen zunehmend untereinander und mit denen der benachbarten Fachgebiete, wie der Mustererkennung, des Maschinellen Lernens und der Computer Vision.

Zwei Gründe sind m. E. dafür ausschlaggebend: (1) Die räumliche Auflösung von Satellitenbilddaten reicht in den Bereich hochfliegender photogrammetrischer Kameras. Die in jüngster Zeit verfügbaren spektral hochauflösenden und oft flugzeuggetragen, oder auch terrestrisch eingesetzten Sensoren verstärken diesen Trend. Daher spielt neben der Physik die Geometrie der zu erfassenden Objekte bei der Interpretation eine zunehmende Rolle. (2) Im Bereich der Bildinterpretation, initiiert durch die Forschung im Bereich der Mustererkennung und des Computer Vision, setzen sich zunehmend statistische Verfahren durch, insbesondere sog. Graphische Modelle, mit Markoff-Feldern und Bayes-Netzen in allen Variationen und Spezialfällen. Dazu kommt die rasante Entwicklung im Bereich des maschinellen Lernens, die diesen Verfahren erst zu ihrem Erfolg verhilft. Damit steht, gegenüber den wissenschaftlichen Verfahren der 90-er Jahre, ein theoretisch fundiertes und noch lange nicht ausgezeihtes Arsenal an Methoden zur Verfügung.

Dem gegenüber stehen zwei Beobachtungen, die m. E. eine Diskussion über das Forschungsprogramm in Photogrammetrie und Fernerkundung erfordern:

- Die Forschung in der Fernerkundung wird geprägt durch geowissenschaftliche Anwendungen. Dabei spielen zwar Fernerkundungsdaten eine tragende Rolle, jedoch stehen meist die Modelle für die Geo-Prozesse und nicht die Modelle für die Abbildung in Fernerkundungsdaten noch die Modelle für die Interpretation im Fokus des Interesses. Man verwendet oft die Mustererkennungsverfahren, die in den Fernerkundungssystemen angeboten werden, die kaum oder – aus kommerziellen Gründen – nicht dokumentiert sind.
- Die photogrammetrische Forschung fokussierte sich, was Fernerkundungsdaten angeht, bisher auf die Georeferenzierung, und, was die Interpretation von Luftbildern angeht, auf Gebäude und Straßen, weniger auf Vegetation oder gar andere den Geo-

¹ Wolfgang Förstner, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Institut für Geodäsie und Geoinformation, Professur für Photogrammetrie, Nußallee 15, 53115 Bonn; E-Mail: wf@ipb.uni-bonn.de

wissenschaften wesentliche Objekte. Daher spielte die Geometrie bei den in der Photogrammetrie entwickelten Methoden für die Bildinterpretation eine dominante Rolle, nicht die statistischen Verfahren, auch wenn diese Verfahren in jüngster Zeit öfters eingesetzt werden.

Eine systematische Aufbereitung der Klassifikations- und Interpretationsmethoden aus Mustererkennung, Maschinellem Lernen und Computer Vision für die Bildinterpretation in Photogrammetrie und Fernerkundung ist daher m. E. dringend erforderlich. Dies betrifft nicht zuletzt die quantitative Beurteilung der in den kommerziellen Fernerkundungssystemen und an den Forschungsgruppen der Hochschulen verfügbaren Methoden an Hand von empirischen Untersuchungen von Fernerkundungsdaten mit Referenzdaten und der darauf aufbauenden Weiterentwicklung und Neukonzeption von Methoden und Verfahren.

Der Beitrag stellt diese Situation dar und skizziert ein Forschungsprogramm, das das ingenieurtechnische Know-how in der Photogrammetrie und seinen technisch orientierten Nachbargebieten integriert und für den Bereich der Bildinterpretation in der Fernerkundung, die Photogrammetrie einschließend, nutzbar machen kann. Innerhalb der ISPRS Arbeitsgruppe „Pattern Recognition in Remote Sensing“ die mit der Internationalen Assoziation für Mustererkennung kooperiert, soll diese Arbeit eine internationale Plattform erhalten.

Die folgende Darstellung ist sicher an verschiedenen Stellen subjektiv, und im Bereich der Fernerkundung ergänzungs- oder korrekturbedürftiger als in der Photogrammetrie. Dies hat möglicherweise Auswirkungen auf die Konsequenzen. Daher kann der Leser den Beitrag als Anstoß nehmen, seine eigenen Gedanken den hier geäußerten gegenüberzustellen. Dennoch kann das skizzierte Forschungsprogramm als Grundlage für eine Diskussion über künftige integrierte Projekte dienen.

2 Photogrammetrie und Fernerkundung

2.1 Entwicklung

Während sich die Photogrammetrie als Ingenieurdisziplin bis in das 19. Jahrhundert zurückverfolgen lässt, begann die Entwicklung der Fernerkundung erst mit dem Aufkommen der ersten Satelliten in den 70er Jahren.

Auch wenn die damals hochmodernen Möglichkeiten der Erkundung aus dem Weltall von photogrammetrischen Instituten aufgegriffen wurden, vor allem, um das brennende Problem der topographischen Kartierung besser anzugehen, entwickelte sich die *Fernerkundung* fast unabhängig. Den Geowissenschaften standen zum ersten Mal überregionale Beobachtungsplattformen zur Verfügung. Die mit den digitalen Bildern verbundene Möglichkeit Auswerteprozesse zu automatisieren konzentrierten sich auf die für die Interpretation erforderlichen atmosphärischen Korrekturen und die Georeferenzierung und vor allem in Softwarepaketen verfügbare Ansätze zur Klassifikation.

Erst mit dem empirischen und theoretischen Nachweis der hochgenauen automatischen Punktübertragung in digitalen Bildern Anfang der 80er Jahre begann die Digitale Bildverarbeitung ihren Einzug in die *Photogrammetrie*. Heute sind alle klassischen photogrammetrischen Prozesse, die Herstellung von Orthophotos, die Herstellung von digitalen Höhenmodellen, die Orientierungsbestimmung mit Hilfe der Bündeltriangulation, ausgehend von den digitalen Bildern weitgehend automatisiert, selbst im Nahbereich, der sich lange einer Standardisierung entzog. Dagegen halten die Anfang der 90er eingeleiteten Forschungsanstrengungen zur Erfassung des semantischen Gehalts von Bildern und Karten bis heute an, erweisen sich

als außerordentlich schwierig und haben lediglich, was die geometrische Erfassung von 3D-Objekten angeht, etwa von Stadtmodellen, zu praktischem Erfolg geführt.

2.2 Situation

Sowohl in Fernerkundung wie Photogrammetrie werden immer schon die neuesten Verfahren der Mustererkennung und seit Kurzem des Maschinellen Lernens aufgegriffen, jedoch

- vereinzelt, nicht koordiniert, nicht fokussiert,
- sehr heterogen, breit gestreut, und - soweit beurteilbar -
- weitgehend ohne spürbaren Einfluss auf die Ausbildung.

Folgende Gründe sind m. E. für diese Situation ausschlaggebend:

1. Fernerkundung und – in etwas geringerem Maße – Photogrammetrie sind außerordentlich breit angelegt. Sie sind anwendungs- oder problemlösungs- nicht methodisch orientiert, eine Situation, um die uns die Nachbardisziplinen beneiden. Methoden werden nach ihrer Eignung für die anstehende Frage-/Problemstellung ausgewählt. Dies prägt auch wesentlich die Curricula der Ausbildung an den Hochschulen.

Im Gegensatz zu der sehr konzentrierten und erfolgreichen methodischen Entwicklung der Aerotriangulation in den 70er und 80er Jahren fehlt heute ein Fokus. Die sehr beachtlichen Erfolge in der photogrammetrischen Forschung in den 90er Jahren im Bereich der sog. semantischen Modellierung (s. FÖRSTNER 1999), gehen einher mit einer Diversität der betrachteten Fragestellungen und Methoden. Allerdings werden die damals begonnenen Versuche die begriffliche Modellierung in die Interpretation einzubringen heute kaum mehr weitergeführt, obwohl gerade die graphischen Modelle dazu angetan wären.

In der Fernerkundung ist die methodische Entwicklung, was die Mustererkennung nicht die Anwendungen angeht, einerseits ganz deutlich von der Verfügbarkeit von Klassifikations- und Interpretationsalgorithmen in den Softwaresystemen geprägt und leidet z. T. unter der Geheimhaltung der Algorithmen durch die Firmen, da eine Beurteilung der implementierten Verfahren so verhindert wird. Andererseits werden die in der Mustererkennung und dem Maschinellen Lernen entwickelten Algorithmen mit großem Interesse aufgenommen, jedoch i. a. ohne eine vergleichende Evaluierung der Verfahren, die die Randbedingungen ihrer Eignung abstecken.

2. Die Gruppe der Wissenschaftler in der Photogrammetrie ist - mit der Breite verglichen - verhältnismäßig klein. Symposia der ISPRS-Kommission III konnten in den letzten Jahren mit etwas über 100 eingereichten Beiträgen rechnen. Die Vielzahl der Workshops ähnlicher Größe integrieren sinnvollerweise mehrere Arbeitsgruppen, allerdings um den Preis der Verbreiterung der Themen.

Diese Situation ist den jährlich mehreren 1000 eingereichten Beiträge in den Bereichen Computer Vision, Mustererkennung und Maschinelles Lernen gegenüberzustellen, ein Faktor von mindest 20. Auch wenn nicht alle Entwicklungen in diesen methodisch orientierten Nachbarbereichen unmittelbar auf die Bildinterpretation übertragbar sind, so gibt es in diesen Bereichen methodische Themen die en vogue sind und die von einer vergleichsweise großen Zahl von Wissenschaftlern über mehrere Jahre bearbeitet werden und damit zu einer gewissen Klärung geführt werden.

3. Das vor uns liegende Problem der Interpretation flächenhafter Daten ist aus verschiedenen Gründen außerordentlich schwierig. Dies hat zu mehreren Konsequenzen geführt:

- a. Semi-automatische Verfahren, bei denen ein Operateur die schwierigen Teile der Interpretation übernimmt, als gleitender Übergang zu vollautomatische Verfahren werden zu Recht avisiert und zeigen Erfolge. Der Zwang zum Erfolg wird aber oft mit pragmatischen Lösungen, die nur eine beschränkte Theoriebildung zulassen, erkauf.
- b. Erfolg bei der Bildinterpretation stellt sich nur zögernd ein. Etwa wurde das in den 90er-Jahren mit großem Enthusiasmus angegangene Problem der hochaufgelösten Gebäuderekonstruktion bis heute nicht wirklich gelöst. Die verfügbaren 2/4 -D-Lösungen aus hochgradig überlappten Stereoaufnahmen oder aus LIDAR-Daten sind weder so hoch aufgelöst noch interpretiert, wie seinerzeit angestrebt.
- c. Ernüchterung über die Schwierigkeit des Problems der Bildinterpretation führten teilweise zu einem Rückzug auf Probleme, bei denen die ‚Trauben nicht so hoch hängen‘, ohne jedoch die Methoden, die die Interpretation erforderlich sind, aus dem Auge zu verlieren. Die Folge ist jedoch eine Defokussierung und Individualisierung, die eine nachhaltige wissenschaftliche Entwicklung verhindert.

Die Situation erscheint schwieriger als vor ca. 15 Jahren zu Beginn des Projektes ‚Semantische Modellierung‘ (FÖRSTNER 1999), da das Bewusstsein und die Ansprüche gewachsen sind und der Abstand zu einer Lösung des Interpretationsproblems weiter erscheint als seinerzeit, um Motivation für einen neuen Anlauf aufzubauen. Tatsächlich sind aber die Indizien nur sichtbar, weil sich der Blick geschärft hat. Tatsächlich liegt ein reichhaltiger Erfahrungsschatz und Detailwissen vor, der nahrhafter Boden für eine fruchtbare Entwicklung bilden kann, die z. B. so aussehen kann, wie im Folgenden skizziert.

3 Ein Forschungsprogramm

Zunächst möchte ich Ingredienzien nennen, die nach den Erfahrungen der Vergangenheit eine nachhaltige und weit reichende Entwicklung ermöglichen, um dann einige Themen unter dem Oberthema ‚Bildinterpretation‘ anzusprechen, die sich für eine Fokussierung der Forschung in Photogrammetrie und Fernerkundung eignen.

3.1 Ingredienzien

Folgende Randbedingungen fördern erfahrungsgemäß die nachhaltigen und weit reichenden Erfolge in der wissenschaftlichen Entwicklung:

- Fokussierung auf Themen, die in ca. eine Dekade bearbeitet werden können,
- Enge Kooperation mit den fachlich angrenzenden Disziplinen,
- Kompetitives Benchmarking,
- Softwareaustausch und
- Integration in die Ausbildung.

Themen: Die Zukunft der Forschung in der Photogrammetrie liegt in der Bildinterpretation, wobei Intensitäts- und Entfernungsbilder gemeint sind. Themen für ein Forschungsprogramm sollten fokussiert genug sein, um in überschaubarer Zeit – vier bis fünf Doktorandengenerationen – zu einem Abschluss kommen zu können, andererseits anspruchsvoll genug sein, um die besten Köpfe unter unseren Studierenden zur Mitarbeit zu motivieren, ähnlich wie es das Förderinstrument des Sonderforschungsbereichs vorsieht, jedoch ohne die dort erforderlichen Randbedingungen. Nachhaltigkeit ist nur mit methodisch orientierten Themen erzielbar, da-

zu zählen Theoriebildung, die Entwicklung theoretisch fundierter Verfahren und der Nachweis ihrer Leistungsfähigkeit (s. u.).

Kooperationen: Die in den Nachbardisziplinen, vor allem der Mustererkennung, dem maschinellen Lernen und derzeit auch dem Computer Vision behandelten Themen sind zu einem großen Teil, evtl. nach geeigneter Anpassung, für die Bildinterpretation nutzbar. Die theoretischen Konzepte, insbesondere im Bereich der Statistik, sind einerseits konzeptionell sehr weit entwickelt, sind wegen der Komplexität und der Breite der dort behandelten Anwendungsprobleme (Bildfolgen, Bildsuche, 2D- und 3D-Dateinterpretation) Gegenstand aktueller Forschung. Wir müssen, da wir als Gruppe selbst zu klein sind, das dort vorhandene konzeptionelle Know-how und die Erfahrungen bei der Modellierung in unsere eigenen Arbeiten integrieren, was m. E. nur durch gemeinsame Projekte gelingen kann, die am gleichen Teilproblem festgemacht sind.

Benchmarking: Zentral für die Erfolge, schon im Bereich der Geometrie-Probleme und des Stereoproblems in den 90ern, erst recht im Bereich der Objekterkennung seit etwas 2000, sind Benchmarks. Nicht zuletzt waren auch die Großversuche ‚Oberschwaben‘ und ‚Appenweier‘ die Basis für die schwer nachzuahmenden Erfolge in der Aerotriangulation. Benchmarks motivieren Autoren neuer Algorithmen und Verfahren sich einer anerkannten Evaluation zu stellen und im Ranking nach oben zu kommen. Benchmarks objektivieren und triggern die wissenschaftlichen Entwicklungen. Die heutigen Möglichkeiten, solche vergleichenden Evaluierungen über das Internet zu realisieren, vereinfachen und beschleunigen die Teilnahme an Benchmarks.

Softwareaustausch: Offener Softwareaustausch ist vertrauensbildend, vergrößert die Zitierquote, und erleichtert die eigene Arbeit, da man auf die geprüfte Erfahrung anderer zurückgreifen kann. Die großen Anstrengungen Anfang der 90er Jahre, große Softwarepakete für den Bereich Computer Vision zu entwickeln (etwa RADIUS oder TargetJr) scheiterten am Anspruch und werden heute durch die Bereitstellung einzelner, wohl definierter Teilmodule ersetzt. Die an deutschen Photogrammetrie-Instituten vorhandene Vorsicht bzgl. der Weitergabe von Software, die bis zu einer grundsätzlichen Ablehnung der Abgabe eigener Software geht – man könnte damit ja eine Verdienstmöglichkeit vergeben –, hat sicher viele gute Entwicklungen und auch Kooperationen verhindert – und hat m. E. von daher der nachhaltigen wissenschaftlichen Entwicklung nicht gedient.

Ausbildung: Die Methodik der Bildinterpretation, einerseits in den statistischen Grundlagen, andererseits in der begrifflichen Durchdringung der Verfahren, hat sich in den letzten 10 Jahren grundlegend weiterentwickelt. Grundlegende Konzepte, etwa der statistischen Modellierung mit graphischen Modellen, der Hauptkomponenten- und der Diskriminanzanalyse und der logistischen Regression zur Behandlung von Mischverteilungen, aber auch die eher logischen oder algebraischen Verfahren wie Entscheidungsbäume oder Support-Vektor-Maschinen sollten m. E. schon im Bachelor vermittelt werden, möglicherweise in Arbeitsteilung mit der Grundausbildung in Statistik. Das mathematische Werkzeug dafür ist ab dem 3. Bachelorsemester vorhanden, die begrifflichen Grundlagen der Semantik der Bildinterpretation im Bereich Geoinformation gelegt. Bachelorarbeiten sollten m. E. bereits im Bereich Bildinterpretation angesiedelt werden können, und damit das Interesse an dem mathematisch der physikalischen Geodäsie in Nichts nachstehenden Methoden wecken.

3.2 Themen

Die beiden im Folgenden aufgefächerten Themenbereiche eint die Notwendigkeit die neuesten Werkzeuge für die Modellierung und Konzepte für die Dateninterpretation aufzubereiten.

Die in beiden Fällen erforderlichen Vorverarbeitungsschritte, angefangen bei der Kalibrierung, über die Georeferenzierung bis zur geometrisch/radiometrischen Datenfusion sind nicht im Fokus. Denn an diesen Arbeiten ist ohnehin genug Interesse, sie sind Voraussetzung für die Interpretationsaufgaben, die grundsätzliche Methodik zur Lösung der Probleme ist vorhanden, die Lösung diese Probleme macht natürlich Mühe, aber wegen der Vielzahl der Einflüsse, vor allem der sich laufend erneuernden Hardware, haben die erzielten Ergebnisse – von immer zu erwartenden Seiteneffekten abgesehen – eine kürzere Lebensdauer.

Der eine Themenbereich, *Mustererkennung in der Fernerkundung*, zielt mehr auf eine Kooperation der Photogrammetrie mit der Fernerkundung, der andere, *Interpretation von LIDAR-Daten*, mehr auf eine Kooperation mit der Ingenieurgeodäsie. In beiden Fällen ist es erforderlich, die schon oben genannten Nachbarfächer der Mustererkennung, des Computer Vision und des Maschinellen Lernens zu integrieren.

Mustererkennung in der Fernerkundung: Die Methoden der Mustererkennung – dabei sind die des maschinellen Lernens eingeschlossen – sind dafür geeignet, die Forschung in Photogrammetrie und Fernerkundung zu integrieren. Dabei geht es um mehrere Aspekte:

- Die Objekterkennung sollte in gleicher Weise multi- und hyperspektralen Daten und geometrisches Wissen nutzen. Ohne die spektralen Reflektionseigenschaften der Objekte ist eine differenzierte Erkennung natürlicher Objekte und ihrer phänologischen Entwicklung unmöglich. Die Übertragung des normalisierten differenziellen Vegetationsindex (NDVI) auf andere Kanalkombination erscheint bei wenigen verfügbaren Kanälen sinnvoll, nicht falls es um die Identifikation der für die Erkennung relevanter Information in einem hoch aufgelösten Spektrum geht. Hier sind automatische Verfahren der Merkmalsselektion auf ihre Eignung hin zu untersuchen.

Genauso verhindert die Vernachlässigung der geometrischen Strukturen der Objekte die erfolgreiche Interpretation. Dies betrifft in erster Linie die Dreidimensionalität der Objekte mit den klassischen Folgen der Verdeckung, der Schattenbildung, der richtungsabhängigen Texturbildung und des Reliefversatzes. Gerade diese Effekte können wesentliche Merkmale für die Erkennung bilden, etwa über die Form, die Rauigkeit, oder gar die über eine die Beziehung der Objektteile abgeleitete Strukturbeschreibung. Die Integration radiometrischer und geometrischer Modelle steht noch am Anfang und erfordert umfangreiche theoretische und empirische Entwicklungen.

- Die Methoden der Mustererkennung sind allgemein genug, alle für die Interpretation erforderlichen Aspekte zu integrieren: *Vorinformation*, welches üblicherweise über Trainingsgebiete in eine Klassifikation eingebracht wird, kann zusätzlich über vorhandene digitale Karten und über fachspezifische Kenntnisse der Objekte gewonnen werden und mit Methoden des Maschinellen Lernens für die Interpretation, etwa Verfahren der Merkmalsselektion oder der unüberwachten Klassifikation aufbereitet werden. Vor allem *raum-zeitliche Strukturen* lassen sich über Zufallsfelder und kausale Netze repräsentieren, aus Daten lernen und zur Verbesserung der Klassifikation verwenden, was durch die zunehmende zeitliche Dichte vor allem von Fernerkundungsdaten hohe praktische Relevanz erhält. Die i. a. hierarchisch nach Spezialisierungs- und Bestandteilshierarchien gegliederten Modelle sind effizient in Bayes-Netze abbild- und lernbar. Die eher konstruktiven Anstrengungen im Bereich Semantic-Web zur Modellierung von Begriffen sollten mit den deduktiven Verfahren des Maschinellen Lernens verknüpft und auf die in unserem Bereich relevante Modellierung von Geoobjekten übertragen werden. Hier stellt sich u. a. das Problem, wie die i. a. nicht-stochastischen Spezialisierungshierarchien, die jedoch u. U. unscharfe Konzepte ent-

halten, mit der Unsicherheit der beobachteten Bestandteilsbeziehungen theoretisch klar, etwa durch eine gemischte *logisch-stochastische-unscharfe* Modellierung, integrieren lassen (s. z. B. NEUMANN et al. 2008).

- Eine Objektivierung der erzielten Ergebnisse kann man über theoretische und empirische Studien erreichen, wobei, wegen der Komplexität der adressierten Objekte, empirischen Validierungsmethoden eine besondere Rolle zukommt. Da Referenzdaten teuer sind und die Vorverarbeitung der Daten aufwändig ist, sind erhebliche Anstrengungen erforderlich, um zu signifikanten Aussagen über die Leistungsfähigkeit der Methoden zu gelangen. Umfang und Qualität von Referenzdaten erfordern wohl eine konzentrierte Aktion von Hochschulen, Firmen und Behörden. Dabei geht es sicher im ersten Schritt ‚nur‘ um Daten, bei denen die o. g. Probleme der Geometrie und der spektralen Auflösung noch nicht die zentrale Rolle spielen, um etwa die verschiedenen Verfahren etwa zur Landbedeckungsklassifikation zu vergleichen. Die ISPRS-Arbeitsgruppe ‚Pattern Recognition in Remote Sensing‘ hat genau dies zum Ziel.

Interpretation von LIDAR-Daten: Die Analyse von LIDAR-Daten hat in der letzten Dekade die Forschung in der Photogrammetrie geprägt. Parallel dazu hat das Interesse an der thematischen Auswertung terrestrischer Laserdaten in der Ingenieurgeodäsie dramatisch zugenommen. Obwohl erste Anstrengungen zur Interpretation etwa von Fassaden (z. B. RIPERDA & BRENNER 2007) Erfolge zeigen, sind die Verfahren zu ‚Objektbildung‘ aus Laserdaten genauso weit von einer Praxistauglichkeit entfernt wie die aus Luftbild- und Fernerkundungsdaten. Was die grundsätzlichen Fragestellungen angeht, sind sie ähnlich bei der Interpretation von Luftbildern und Fernerkundungsdaten. Im Einzelnen gibt es jedoch Unterschiede:

- Eine zuverlässige Objektbildung verlangt die gleichzeitige Nutzung von Intensitäts- bzw. Farb- und Entfernungsinformation. Intensitätsinformation steht entweder unmittelbar über das Lasersignal oder über eine zusätzliche Kamera zur Verfügung. Geometrische Information ist leichter aus den Entfernungsbildern zu gewinnen, vor allem auf texturarmen Oberflächen. Die Intensitätsinformation hilft zusätzlich bei der Interpretation, gerade auf großen ebenen Oberflächen. Je nach Aufnahmeanordnung und in Abhängigkeit von den verwendeten Instrumenten, können sich die beiden Informationsmodi gegenseitig bei der geometrischen Auflösung ergänzen. Obwohl durch die Laserdaten unmittelbar dreidimensionale Information verfügbar ist und damit die Auswerteprozesse vereinfacht werden, verlangt die große Inhomogenität der Punktanordnung und vor allem die i. A. volle Dreidimensionalität erhöhten Aufwand bei der Verarbeitung und damit auch bei der Modellierung für die Interpretation.
- Die raum-zeitlichen und auch semantischen Modelle der Mustererkennung, etwa in der Form von Markoff-Feldern und Bayes-Netzen, sind bei der Interpretation von Laserdaten gleichermaßen einsetzbar. Bei topographischen Anwendungen, bei denen i. a. luftgestützte Aufnahmen eingesetzt werden, kommen ähnliche oder gar die gleichen Objektmodelle zu Einsatz, mehr noch, können gleichzeitig auch Fernerkundungsdaten verwenden. Bei terrestrischen Anwendungen sind jedoch wegen der Dreidimensionalität der Objekte, vor allem bei der Analyse von Vegetation, die Anforderungen an die Modellierung deutlich höher. Bei der 3D-Erfassung von Industrieanlagen kommt dem Vorwissen über die zu erfassenden Objekte eine besondere Bedeutung zu.
- Der Validierung der Methoden kommt auch hier eine zentrale Rolle zu. Insbesondere erlaubt sie eine kontrollierte Entwicklung der Methoden von vergleichsweise einfachen Aufgaben wie der Detektion und Erkennung von Basisformen, über die Identifikation von Aggregaten bis zur Erkennung und Positionsbestimmung von in CAD-Datenbanken verfügbaren komplexen 3D-Objekten. Der Objektivierung der Qualität

kommt hier eine Schlüsselrolle in der Interaktion zwischen dem Anwender und dem Verfahrensentwickler zu.

Über Interpretations- und Analysemethoden von raum-zeitlichen Relationen zwischen Geo-Objekten besteht eine ähnlich enge, hier nicht weiter ausgeführte, Brücke zur Nachbardisziplin Geoinformatik.

4 Schluss

Die Methoden der Mustererkennung und des maschinellen Lernens sind offenbar geeignet, zentrale Probleme in unserem eigenen engeren Fachgebiet der Photogrammetrie zu lösen und gleichzeitig als tragfähige Brücke zu den unmittelbaren Nachbardisziplinen, der Fernerkundung und der Ingenieurgeodäsie zu bilden. Interdisziplinäre Forschungsvorhaben in den genannten Themenbereichen, etwa DFG-Schwerpunkte oder EU-Vorhaben, werden nicht nur keine Schwierigkeiten haben, gefördert zu werden sondern sind m. E. auch dringend erforderlich, um die Innovationskraft in unserem eigenen Forschungsfeld zu stärken und um die für die Anwendung notwendigen Entwicklungen in der Hand zu behalten.

4 Literaturverzeichnis

- RIPPERDA, N. & C. BRENNER, C., 2007: *Data driven rule proposal for grammar based facade reconstruction*, Photogrammetric Image Analysis 2007, vol. 36, no. 3/W49A, p. 1-6
- FÖRSTNER, W., 1999: *Semantic Modelling for the Extraction of Spatial Objects from Images and Maps*, Final Report, SMATI '99, Semantic Modelling for the Acquisition of Topographic Information from Images and Maps, Munich
- NEUMANN, B.; COHN, A.C.; HOGG, D.C. & MÖLLER, R., (2008): *Logic and Probability for Scene Interpretation*, <http://drops.dagstuhl.de/portals/index.php?semnr=08091>, zuletzt angesprochen: 15. 1. 2009
- VOSSELMAN, G. & TANGELDER, J.W.H.: *3D Reconstruction of Industrial Installations by Constrained Fitting of CAD Models to Images*. In SOMMER, G., N. KRÜGER, C. PERWASS: 'Mustererkennung 2000', Springer, p. 285-292