



## Photogrammetrische Forschung – Eine Zwischenbilanz aus Bonner Sicht

WOLFGANG FÖRSTNER, Bonn

*Die Schwierigkeit liegt nicht darin,  
die neuen Ideen zu finden,  
sondern die alten loszuwerden.*

John M. Keynes

So wie ein runder Geburtstag im Jahre 2000 Anlass für einen Zwischenbericht in dieser Zeitschrift über die Forschung nach 10 Jahren Leitung des Instituts für Photogrammetrie war, so gibt mir meine Pensionierung die Gelegenheit, die Entwicklung der letzten Jahre, wie sie sich aus meiner Sicht darstellt, zu skizzieren, sie mit repräsentativen Arbeiten aus meiner Arbeitsgruppe in diesem Heft vorzustellen. Selbst bei dieser Beschränkung lässt sich die Dynamik in unserem in Breite und Tiefe wachsenden Forschungsfeld beleuchten.

Während wir mit einer Promotion zur strukturerehaltenden Generalisierung von Digitalen Geländemodellen (BRAUNMANDL 2002) innerhalb des Sonderforschungsbereichs 350 ‚Wechselwirkungen kontinentaler Stoffsysteme und ihre Modellierung‘ unsere Arbeiten zur Qualität von Geodaten abschlossen, hat uns unser zentrales Aufgabengebiet, die Automation der dreidimensionalen Gebäudeerfassung, bis heute nicht losgelassen. In den 90er-Jahren stützten sich unsere Arbeiten noch auf starke geometrische Modelle. Bei ihnen ergab sich die dreidimensionale Form durch Aggregation von Gebäudeteilen. Sie waren daher sowohl für die automatische wie die manuelle Erfassung geeignet und erforderten daher zur empirischen Prüfung eigene Konzepte (RAGIA 2001). Sie konnten jedoch die große Vielfalt realer Objekte nicht beschreiben und verlangten einen neuen Zugang zum Problem der Gebäudemodellierung. Dieser sollte und musste die alten Konzepte grundsätzlich ablösen, ein in seinen Folgen bis heute nicht abgeschlossener Schritt.

Zunächst reduzierten wir die Rigidität der Modelle, die sich durch die Festlegung auf manuell erstellte Gebäudeteile ergab und fokussierten auf polyederförmige Oberflächenbeschreibungen. SCHINDLER & FÖRSTNER (2011), durch die Rekonstruktion von Polyedern aus Punktwolken motiviert, stellen in diesem Heft ein flexibles Segmentierungsverfahren vor, das geometrische und radiometrische Information integrieren kann. Die Zuwendung zu Polyedern als elementares Oberflächenmodell von Gebäuden und seiner Erscheinungsform in Bildern erforderte eine fundierte Modellierung der Unsicherheit der mit projektiver Geometrie beschreibbaren geometrischen Grundelemente und ihrer Transformationen. Grundlegend dazu waren die Arbeiten von HEUEL (2004) zum unsicheren geometrischen Schlussfolgern mit der erforderlichen Erweiterung des Kalmanfilter-Updates bei impliziten Funktionen, siehe der Beitrag von STEFFEN. APPEL (2004) nutzte die projektive Geometrie zur Integration von Bildern und Plänen. Die Arbeit von BEDER (2006) zur Gruppierung unsicherer geometrischer Elemente zum Zwecke der Gebäuderekonstruktion zeigt auch die Limitierungen rein geometrischer Verfahren zur Rekonstruktion von Polyedern, legt aber auch die Basis für allgemeinere Gruppierungsaufgaben, siehe der Beitrag von WENZEL.

Die Flexibilisierung der Gebäudemodelle erlaubte jedoch kaum eine Interpretation der Bilddaten, in dem Sinne, dass die resultierenden Objekte klassifiziert und ihre gegenseitigen Beziehungen identifiziert wurden. Mitentscheidend für die Arbeitsrichtung in den

letzten Jahren war die Frage eines Gutachters bei der Beurteilung unserer Arbeiten zur Gebäudeerfassung im Jahr 1995: „Wenn Sie die Vielfalt der Formen und Strukturen realer Gebäude bei der automatischen Bildauswertung nutzen wollen, können Sie nicht alle auftretenden Formen manuell modellieren. M.E. benötigen Sie dazu Methoden des maschinellen Lernens.“ Wir mussten beginnen zu lernen wie Rechner statistische Modelle lernen können.

Mit dem von der EU geförderten Projekt *E-Training for Interpreting Images of Man-Made Scenes* (eTRIMS) begannen wir 2006 zusammen mit Kollegen aus der Computer Vision (RADIM SARA, CMP, Prag), der Mustererkennung (MARIA PETROU, UCL, London) und der Künstlichen Intelligenz (BERND NEUMANN, KOGS, Hamburg) am Problem der Interpretation von Fassadenbildern das Problem der Bildinterpretation neu aufzugreifen. Zentral in diesem Projekt war eine Steuerung der Interpretation durch ein Fassadenmodell, das Partonomien, Taxonomien und relationale Modelle zwischen den Fassadenteilen enthielt und mit den Bildregionen interagierte. Wir befassten uns in diesem Projekt mit so genannten graphischen Modellen, auf Graphen gestützte stochastische Modelle für Objektteile und ihre Beziehungen, als Schnittstelle zwischen dem Fassadenmodell und den Bildregionen. Hierbei ging es um die simultane Klassifikation vieler, hierarchisch angeordneter Bildregionen, was durch bedingte Bayesnetze oder bedingte Markoff-Zufallsfelder realisierbar ist (DRAUSCHKE 2011, YANG 2011). Dazu kamen statistisch begründete Verfahren zur Schätzung, d.h. Lernen der freien Parameter des Klassifikationsmodells: KORČ (2012) zeigt in seiner Arbeit, dass diese Parameterschätzung auf ein konvexes Optimierungsproblem führt, wenn man ein so genanntes logistisches Modell für die Bestimmung der a posteriori Wahrscheinlichkeiten verwendet. Dieses Klassifikationsmodell hat sich als außerordentlich flexibel herausgestellt, da es bei gleicher Qualität wie Standardverfahren auf natürliche Weise mehrere Klassen verarbeiten kann, zuverlässige a posteriori Wahrscheinlichkeiten liefert und sich wirksam zu einem inkrementelles Lernverfahren verallgemein-

ern lässt, wie die Arbeit von ROSCHER (2012) zeigt.

Graphische Modelle haben ein außerordentlich breites Anwendungsfeld, nicht nur in der Geodäsie und Photogrammetrie, siehe der Beitrag von FÖRSTNER. Sie haben daher einige unserer Arbeiten beeinflusst: bereits sehr früh zur Klassifikation von Laserdaten (BRUNN 2000), später zur Klassifikation des Gesundheitszustands von Pflanzen (BAUER 2011). DICKSCHEID (2010) modelliert das Problem der Zuordnung von Bildpunkten und -kanten über ein Markoff-Zufallsfeld, und kann so auch Nachbarschaftsrelationen unter den Bildmerkmalen integrieren, siehe seinen Beitrag in diesem Heft.

Parallel zu diesen Arbeiten konnten wir, u.a. in Industriekooperationen unsere Arbeiten zur Bildfolgenanalyse fortsetzen. Dabei ging es um die Echtzeitauswertung von Stereobildfolgen für Fahrerassistenzsysteme (BARTH 2010, SIEGEMUND 2013). Die Verfügbarkeit leichter unbemannter Flugsysteme ist nicht nur hoch attraktiv in der Lehre, sondern stellt wegen der Gewichtsrestriktionen besondere Anforderungen an die Auswertetechnik bei der Bestimmung der Eigenbewegung aus Bildfolgen einzelner Videokameras (STEFFEN 2009). Im Jahr 2011 konnten wir eine DFG-Forschergruppe zum Thema Mapping on Demand einwerben. Zusammen mit der Robotik (BEHNKE, Bonn), der Computer Graphik (KLEIN, Bonn), der Computer Vision (CREMERS, München), der Ingenieurgeodäsie (KUHLMANN, Bonn) und der Geoinformation (PLÜMER, Bonn) adressieren wir das Problem der autonomen Navigation eines mit Kameras, Ultraschallsensoren, Laserabtaster und GPS/INS ausgestatteten fliegenden Roboters und die durch den Benutzer beauftragte Erfassung der Umgebung. In diesem Projekt sind wir für die visuelle Ortung aus synchron aufgenommenen Bildfolgen von Gruppen von Fisheye-Kameras zuständig, siehe der Beitrag von SCHNEIDER. Damit rückt eines der klassischen photogrammetrischen Probleme, das der Kamerasystemkalibrierung (MITSCHKE 2002) bzw. der Approximation der Aufnahmegeometrie durch ein Zentralprojektionsmodell (WOLFF 2006) erneut in den Vordergrund.

Wir freuen uns über die Anerkennung, die wir durch den DAGM-Preis 2001 und 2010,

den Commerzbank-Dissertationspreis 2005, den best-paper-award bei der Konferenz Photogrammetric Computer Vision 2011 und den DGPF-Preis 2012 erfahren konnten, siehe LUXEN & FÖRSTNER (2001), BARTH et al. (2010), APPEL (2004), SCHINDLER & FÖRSTNER (2011) und SCHNEIDER (2011).

Der Lösung der 1990 avisierten Aufgabe der automatischen Gebäudeerfassung sind wir bis heute einige Schritte näher gekommen. Was ich damals nicht sah, sind die heute bei weitem nicht ausgeschöpften Methoden und Möglichkeiten, insbesondere der Mustererkennung und des maschinellen Lernens, vor allem graphische Modelle und Grammatiken, um der Komplexität der Gebäudeerfassung Herr zu werden. Ebenso wenig war abzusehen, dass der damals als Kern der Photogrammetrie bezeichnete und zwischenzeitlich durch die Bildinterpretation scheinbar verdrängte Bereich der Kalibrierung und Orientierung durch autonome fahrende und fliegende Plattformen und durch die außerordentliche Vielzahl von Nicht-Standard-Kameramodellen Anforderungen an die Abbildungskonzepte, ihre Integration in Echtzeitsysteme und ihre Vermittlung in der Lehre stellt. Die Photogrammetrische Forschung integriert zunehmend messtechnische und interpretatorische Fragestellungen, bindet so Themen der Ingenieurgeodäsie und der Fernerkundung ein und kann daher auf eine spannende Zukunft blicken.

Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen, Forschungsförderern, Firmen, der Universität und der Fakultät, die die Arbeit an unserem Institut finanziell ermöglicht haben, bedanken. Der die ganzen Jahre kooperative und unterstützende Geist in der Bonner Fachgruppe Geodäsie und Geoinformation hat mir die Arbeit leicht gemacht und mich getragen. Mein besonderer Dank gilt meinen Mitarbeitern. Sie haben nicht nur Hervorragendes geleistet, vielmehr haben sie, mit zunehmendem Altersunterschied zu mir, mehr und mehr die Innovation am Institut getragen – was könnte hoffnungsvoller stimmen, wenn man die auf uns

zukommenden lohnenden Herausforderungen geodätisch-photogrammetrischer Forschung betrachtet.

Ich wünsche dem Leser eine interessante Lektüre.

*Wer seine Ziele erreicht,  
hat sie zu niedrig gewählt.*

Herbert von Karajan

## References

- APPEL, M., 2004: From Images and Technical Drawings to 3D Models: A Novel Approach to As-Built Reconstruction. – PhD thesis, Institute of Photogrammetry, University of Bonn, ibidem-Verlag, Stuttgart.
- BARTH, A., 2010: Vehicle Tracking and Motion Estimation Based on Stereo Vision Sequences. – PhD thesis, Institute of Photogrammetry, University of Bonn, <http://hss.ulb.unibonn.de/2010/2356/2356.htm>.
- BARTH, A., SIEGEMUND, J., MEISSNER, A., FRANKE, U. & FÖRSTNER, W., 2010: Probabilistic Multi-Class Scene Flow Segmentation for Traffic Scenes. – GOESELE, M., ROTH, S., KUIJPER, A., SCHIELE, B. & SCHINDLER, K. (eds.): Pattern Recognition (Symposium of DAGM) '10, Springer.
- BAUER, S.D., 2011: Automatische Detektion von Krankheiten auf Blättern von Nutzpflanzen. – PhD thesis, Institute of Photogrammetry, University of Bonn, <http://hss.ulb.unibonn.de/2011/2744/2744.htm>.
- BEDER, C., 2006: Gruppierung unsicherer orientierter projektiver geometrischer Elemente mit Anwendung in der automatischen Gebäuderekonstruktion. – PhD thesis, Institute of Photogrammetry, University of Bonn, <http://hss.ulb.unibonn.de/2007/0935/0935.htm>.
- BRAUNMANDL, A., 2002: Geometrische Generalisierung von Digitalen Höhenmodellen. – PhD thesis, Institute of Photogrammetry, University of Bonn, <http://hss.ulb.unibonn.de/2002/0280/0280.htm>.
- BRUNN, A., 2000: Semantik-basierte Gebäudeerfassung mit verkoppelten Markoff-Zufallsfeldern. – PhD thesis, Institute of Photogrammetry, University of Bonn, <http://hss.ulb.uni-bonn.de/2000/0139/0139.htm>.
- DICKSCHEID, T., 2010: Robust Wide-Baseline Stereo Matching for Sparsely Textured Scenes. – PhD thesis, Institute of Photogrammetry, University of Bonn, <http://hss.ulb.unibonn.de/2011/2603/2603.htm>.

- DRAUSCHKE, M., 2011: Ein hierarchischer Ansatz zur Interpretation von Gebäudeaufnahmen. – PhD thesis, Institute of Photogrammetry, University of Bonn, <http://hss.ulb.unibonn.de/2012/2871/2871.htm>.
- HEUEL, S., 2004: Statistical Reasoning in Uncertain Projective Geometry for Polyhedral Object Reconstruction. – LNCS, Springer.
- KORČ, F., 2012: Tractable Learning for a Class of Global Discriminative Models for Context Sensitive Image Interpretation. – PhD thesis, Department of Photogrammetry, University of Bonn, <http://hss.ulb.uni-bonn.de/2012/3010/3010.htm>.
- LUXEN, M. & FÖRSTNER, W., 2001: Optimal Camera Orientation from Points and Straight Lines. – RADIG, B. & FLORCZYK, S. (eds.): Mustererkennung 2001, 23. DAGM-Symposium, LNCS 2191: 84–91, Springer, München.
- MITSCHE, M., 2002: Methods for Geometric Calibration of X-ray Imaging Systems. – PhD thesis, Institute of Photogrammetry, University of Bonn, ibidem-Verlag, Stuttgart.
- RAGIA, L., 2001: Ein Modell für die Qualität räumlicher Daten zur Bewertung der photogrammetrischen Gebäudeerfassung. – PhD thesis, Institute of Photogrammetry, University of Bonn. GMD Series 14.
- ROSCHER, R., 2012: Sequential Learning using Incremental Import Vector Machines for Semantic Segmentation. – PhD thesis, University Bonn.
- SCHNEIDER, J., 2011: Lösung von Orientierungsaufgaben der Photogrammetrie mit konvexer Optimierung. – Master thesis, University of Bonn, <http://hss.ulb.uni-bonn.de/2012/3009/3009.htm>.
- SCHINDLER, F. & FÖRSTNER, W., 2011: Fast marching for robust surface segmentation. – Photogrammetric Image Analysis, LNCS 6952: 147–158.
- SCHNEIDER, J., 2011: Lösung von Orientierungsaufgaben der Photogrammetrie mit konvexer Optimierung, Master thesis. University of Bonn.
- SIEGEMUND, J., 2013: Street Surfaces and Boundaries from Depth Image Sequences Using Probabilistic Models. – PhD thesis. University Bonn. submitted.
- STEFFEN, R., 2009: Visual SLAM from Image Sequences Acquired by Unmanned Aerial Vehicles. – PhD thesis, Institute of Photogrammetry, University of Bonn, <http://hss.ulb.unibonn.de/2009/1971/1971.htm>.
- WOLFF, K., 2006: Zur Approximation allgemeiner optischer Abbildungsmodelle und deren Anwendung auf eine geometrisch basierte Mehrbildzuordnung am Beispiel einer Mehrmedienabbildung. – PhD thesis, Institute of Photogrammetry, University of Bonn, <http://hss.ulb.uni-bonn.de/2007/1099/1099.htm>.
- YANG, M.Y., 2011: Hierarchical and Spatial Structures for Interpreting Images of Man-made Scenes Using Graphical Models. – PhD thesis, Institute of Photogrammetry, University of Bonn, <http://hss.ulb.uni-bonn.de/2012/2765/2765.htm>.

## Address of the Author:

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. WOLFGANG FÖRSTNER, Josef-Schell-Str. 34, D-53121 Bonn, e-mail: wf@ipb.uni-bonn.de