

PRG

Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

Organ der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie,
Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V.

Jahrgang 2004, Heft 1

Hauptschriftleiter:
Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Szangolies

Schriftleiter:
Dr. rer.nat. Carsten Jürgens und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert

Redaktionsbeirat (Editorial Board): Clement Atzberger, Ralf Bill, Eberhard Gülch,
Christian Heipke, Barbara Koch, Hans-Gerd Maas, Jochen Schiewe, Matthäus Schilcher
und Monika Sester



E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung
(Nägele u. Obermiller) Stuttgart 2004



Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung
und Geoinformation (DGPF) e.V.
Gegründet 1909

Die *Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation* (DGPF) e.V. unterstützt als Mitglieds- bzw. Trägergesellschaft die folgenden Dachverbände:



International Society
for Photogrammetry
and Remote Sensing

DAGM

Deutsche Arbeits-
gemeinschaft für
Mustererkennung e.V.



Alfred-Wegener-Stiftung
(AWS) zur Förderung
der Geowissenschaften

Herausgeber:

© 2004 Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V.
Geschäftsstelle: Dr. Klaus-Ulrich Komp, c/o EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Ostmarkstraße 92, D-48145 Münster, e-mail: Praesident@dgpf.de
Internet: <http://www.dgpf.de>

Published by:

E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Johannesstraße 3 A,
D-70176 Stuttgart. Tel.: 07 11/35 14 56-0, Fax: 07 11/35 14 56-99, e-mail: mail@schweizerbart.de
Internet: <http://www.schweizerbart.de>

© Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier nach ISO 9706-1994

All rights reserved including translation into foreign languages. This journal or parts thereof may not be reproduced in any form without permission from the publishers.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in dieser Zeitschrift berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Verantwortlich für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren.

ISSN 1432-8364

Hauptschriftleiter: Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Szangolies, Closewitzer Str. 44, D-07743 Jena.
e-mail: Klaus.Szangolies@t-online.de

Schriftleiter: Dr. rer.nat. Carsten Jürgens, Universität Regensburg, Institut für Geographie D-93040 Regensburg, e-mail: carsten.juergens@geographie.uni-regensburg.de und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert, Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg, Heinrich-Mann-Allee 103, D-14473 Potsdam, e-mail: eckhardt.seyfert@lvermap.brandenburg.de

Erscheinungsweise: 7 Hefte pro Jahrgang.

Bezugspreis im Abonnement: € 108,- pro Jahrgang. Mitglieder der DGPF erhalten die Zeitschrift kostenlos.

Anzeigenverwaltung: Dr. E. Nägele, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Johannesstraße 3A, D-70176 Stuttgart, Tel.: 0711/35 14 56-0; Fax: 0711/35 14 56-99.
e-mail: mail@schweizerbart.de, Internet: <http://www.schweizerbart.de>

Bernhard Harzer Verlag GmbH, Westmarkstraße 59/59a, D-76227 Karlsruhe, Tel.: 0721/9440 20, Fax: 0721/9440 230, e-mail: Info@harzer.de, Internet: www.harzer.de

Printed in Germany by Tutte Druckerei GmbH, D-94121 Salzweg bei Passau

PFG – Jahrgang 2004, Heft 1

Inhaltsverzeichnis

Originalbeiträge

LUHMANN, TH. & PEIPE, J.: Vorwort zu den Beiträgen über die Nahbereichsphotogrammetrie in memoriam von WILFRIED WESTER-EBBINGHAUS	5
KOTOWSKI, R.: Prof. Dr.-Ing. WILFRIED WESTER-EBBINGHAUS – Rückschau und Würdigung	7
PEIPE, J.: Zur Entwicklung der Aufnahmetechnik in der Nahbereichsphotogrammetrie	9
LUHMANN, TH. & GODDING, R.: Messgenauigkeit und Kameramodellierung – Kernfragen der Industriephotogrammetrie	13
SCHNEIDER, C.-TH.: Photogrammetrische 3D-Messsysteme	23
BÖSEMANN, W. & UFFENKAMP, V.: Industrienwendungen der Nahbereichsphotogrammetrie	29
DOLD, J.: Neue Laser-Technologien für die Industrievermessung	39
ZINNENDORF, S.: Photogrammetrische Low-Cost-Systeme	47
PRZYBILLA, H.-J. & WOYTOWICZ, D.: Dokumentation industrieller Anlagen: Vom 2D-Bestandsplan über das GIS zur virtuellen Realität – eine Standortbestimmung	53
BRUSCHKE, A., PEIPE, J. & WOYTOWICZ, D.: Das Projekt „Die Kirchen von Siena“	59

Berichte und Mitteilungen

Berichte

49. Photogrammetrische Woche, 1.–5. 9. 2003 in Stuttgart	65
INTERGEO 2003, Trendanalyse	66
75 Jahre SGPBF, Festveranstaltung am 22. 9. 2003 in Zürich	69
ISPRS/EARSeL-Workshop, 6.–8. 10. 2003 in Hannover	70
ISPRS/EuroSDR-Workshop, 8.–10. 10. 2003 in Dresden	74
Russisches Kataster mit modernster Technik ausgerüstet	75
Persönliches	
Ehrendoktorwürde für Professor HEINRICH EBNER	76
Vorankündigungen	80
Mitteilungen der DGPF	83
Zum Titelbild	84

Ankündigung für den gemeinsamen Workshop von



Deutscher Dachverband für
Geoinformation e.V.
Kommission für Aus- und Fortbildung



Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie,
Fernerkundung und Geoinformation e.V.
- Arbeitskreis Ausbildung -



eLearning in Geoinformatik und Fernerkundung – Stand und Perspektiven –

16. /17. Februar 2004 in Vechta

Themen

Übersicht über aktuelle eLearning-Projekte in GI und Fernerkundung
Erfahrungsberichte aus Projekten
Diskussion künftiger Strategien (z.B. Fördermaßnahmen, Einbindung in Curricula, Qualitäts-Sicherung
Künftige Kooperationsmöglichkeiten

Kontakt

PD Dr.-Ing. habil.
Jochen Schiewe
Forschungszentrum Geoinformatik und Fernerkundung (FZG),
Hochschule Vechta
e-mail:
jschiewe@fzg.uni-vechta.de

Kurzfassungen

für Beiträge bitte per e-mail
einreichen bis 10.12.2003 (ca.
750 Wörter)

www.gin-online.de/elearning

Vorwort zu den Beiträgen über die Nahbereichsphotogrammetrie in memoriam von WILFRIED WESTER-EBBINGHAUS

Professor WILFRIED WESTER-EBBINGHAUS starb am 12. Juli 1993 – also vor gut 10 Jahren – völlig überraschend im Alter von 46 Jahren. Dieses Heft der PFG ist seinem beruflichen Wirken und seiner Bedeutung für die Photogrammetrie gewidmet. Die Autoren gehörten zu seinen engen Freunden und Schülern. Ziel des Heftes ist es, einen Überblick über die Entwicklung der Nahbereichstechniken in den letzten Jahren und ihren momentanen Stand zu geben und dabei auch aufzuzeigen, welchen Anteil und welche Wirkung die Arbeiten von WESTER-EBBINGHAUS hatten bzw. noch haben.

Nach einigen biographischen Hinweisen von RÜDIGER KOTOWSKI wird im Beitrag von JÜRGEN PEIPE zunächst das Thema der photogrammetrischen Aufnahmesysteme im Nahbereich behandelt. Das Spektrum nutzbarer Kamerasysteme reicht dabei von Digitalvideokameras über Kleinbild-Consumerkameras bis hin zu intelligenten digitalen Messkameras. Analoge Aufnahmesysteme sind in der Praxis noch im Einsatz, werden aber selbst in anspruchsvollen Messaufgaben von digitalen Bildsensorsystemen abgelöst.

Die Themen Kamerakalibrierung und Messgenauigkeit werden im Beitrag von THOMAS LUHMANN und ROBERT GODDING diskutiert. Im Anwendungsgebiet der industriellen photogrammetrischen Messtechnik spielen das Erreichen und der Nachweis einer spezifizierten Messgenauigkeit am Werkstück eine entscheidende Rolle. Es werden neue Möglichkeiten der geometrischen Kameramodellierung vorgestellt und ihre Auswirkung auf die Längenmessunsicherheit an Beispielprojekten aufgezeigt.

Im Beitrag von CARL-THOMAS SCHNEIDER wird der aktuelle Stand der Technik photogrammetrischer 3D-Messsysteme präsen-

tiert, die vor allem im industriellen Umfeld eingesetzt werden. Unter einem System werden dabei Komponenten zusammengefasst, die von der Antastung und Signalisierung des Objektes über geeignete Bildaufnahmesysteme bis hin zu komplexen Softwareprogrammen reichen. Genauigkeit, Zuverlässigkeit, Mobilität und Flexibilität sind typische Merkmale moderner photogrammetrischer Messsysteme.

Das mögliche Anwendungsspektrum reicht dabei von der Vermessung großer Ingenieurobjekte über typische industrielle Werkstücke bis hin zu makroskopischen und dynamischen Aufgabenstellungen. WERNER BÖSEMANN und VOLKER UFFENKAMP fassen sowohl einige repräsentative Messprojekte als auch interessante Sonderanwendungen zusammen und zeigen das praktische Leistungsspektrum der industriellen Nahbereichsphotogrammetrie auf, wie es heute auch von Nicht-Photogrammetern in der alltäglichen Arbeit erreicht wird.

Photogrammetrische Systeme werden zunehmend in hybriden Konstellationen mit anderen Sensoren und Messverfahren kombiniert. So zeigt JÜRGEN DOLD in seinem Beitrag über neue Lasertechnologien, wie polare Laser-Tracking und Scanning-Verfahren mit photogrammetrischer Bildauswertung kombiniert werden können und damit insbesondere im Bereich großdimensionierter Objekte neue Anwendungen erschlossen werden. Das neue Verfahren des Laser-Radars überwindet bisherige Probleme bei der optischen Antastung glatter und spiegelnder Oberflächen bei gleichzeitig sehr hoher Messgenauigkeit.

Schon in den achtziger Jahren wurden die Möglichkeiten der analytischen photogrammetrischen Orientierung und Kalibrierung beliebiger Bildverbände genutzt, um erste

weit verbreitete photogrammetrische Auswertesysteme auf der Basis von Personalcomputern und unter Einsatz klein- und mittelformatiger Teilmesskameras im Markt zu positionieren. STEPHAN ZINNDORF beschreibt in seinem Artikel die Komponenten und Möglichkeiten photogrammetrischer Low-Cost-Systeme und zeigt deren Anwendungspotential an Beispielen der Architektur und Unfallaufnahme auf.

Die Kombination von digitaler Nahbereichsphotogrammetrie mit CAD- und Visualisierungstechniken sind aus dem Bereich der 3D-Bestandsdokumentation für Facility-Management-Anwendungen nicht mehr wegzudenken. HEINZ-JÜRGEN PRZYBILLA und DETLEV WOYTOWICZ berichten über ak-

tuelle technische Lösungen und beispielhafte Anwendungen aus diesem Bereich.

Die photogrammetrische Vermessung von Bauwerken war ein besonderes Anliegen von WESTER-EBBINGHAUS, der ja Mitglied im Council des CIPA (The ICOMOS/ISPRS Committee for Documentation of Cultural Heritage) war. Daher ist der das Heft abschließende Bericht der Aufnahme der Kirchen von Siena gewidmet, ein umfangreiches Projekt, an dem auch viele Freunde und Schüler von WESTER-EBBINGHAUS ihren Anteil hatten.

THOMAS LUHMANN, Oldenburg &
JÜRGEN PEIPE, München

Prof. Dr.-Ing. Wilfried Wester-Ebbinghaus – Rückschau und Würdigung

RÜDIGER KOTOWSKI, Steinfurt

Keywords: Wilfried Wester-Ebbinghaus in memory, obituary

WILFRIED WESTER-EBBINGHAUS verstarb 1993 plötzlich und unerwartet im Alter von nur 46 Jahren. Am 12. Juli 2003 jährte sich sein Todestag zum zehnten Mal. Es ist mir ein besonderes Anliegen, seine Person als Wissenschaftler, Ingenieur, Lehrer und Entwickler sowie seine außergewöhnlichen persönlichen Qualitäten an dieser Stelle in Erinnerung zu rufen und zu würdigen.

WILFRIED WESTER-EBBINGHAUS war ein Photogrammeter von hohem nationalen und internationalen Rang. Mit den zukunftsweisenden, in sich konsistenten geräte- und verfahrenstechnischen Entwicklungen, die von ihm Ende der 70er Jahre eingeleitet wurden, hat er entscheidend dazu beigetragen, der Nahbereichsphotogrammetrie zu Ansehen und neuer Blüte zu verhelfen. Hier seien insbesondere erwähnt (ausführlicher in KUPFER & WROBEL 1993, KUPFER 1994 und PEIPE 1994):

- Entwicklungen zur Réseauteknik,
- Prinzip der Teilmesskamera im Kleinbild-, Mittel- und Luftbildformat,
- Réseau-Scanner,
- Réseau-Scanning-Kamera,
- Video-Theodolit bzw. Schwenk-Neige-Kamera,
- Design und Triangulation von Mehrbildverbänden unter Einbeziehung einer Vielzahl von zusätzlichen Beobachtungen einschließlich simultaner Kamerakalibrierung (kombinierte Ausgleichung in der Nahbereichsphotogrammetrie),
- Verfahren und Methoden zur analytischen Kamerakalibrierung (z. B. Einzelstandpunkt-Selbstkalibrierung),
- Automatisierung der Punkterkennung und Bildmessung mit Methoden der Digitalen Bildverarbeitung und

- Untersuchungen zur photogrammetrischen Nutzung digitaler Kameras.

WESTER-EBBINGHAUS gelang es in wenigen Jahren, die wesentlichen Bausteine für optische 3D-Messsysteme im Nahbereich bereitzustellen. Zusammen mit seinen Mitarbeitern und Partnern aus der Industrie entstand zunächst ein Aufnahme- und Auswertesystem für photogrammetrische Anwendungen mit moderaten Genauigkeitsanforderungen, z. B. für Bauwerks-, Denkmal- und Tatbestandsdokumentationen. Die rasante Entwicklung der Optoelektronik nutzend und die eigenen Forschungen vorantreibend, konnte er Ende der 80er Jahre ein industrietaugliches optisches 3D-Messsystem für Projekte mit sehr hohen Genauigkeitsansprüchen – vorrangig im Automobil- und Flugzeugbau – vorstellen, ein Meilenstein für die Etablierung der Nahbereichsphotogrammetrie im Bereich der industriellen Messtechnik.

Leider war es WESTER-EBBINGHAUS nur noch teilweise gegönnt, den Übergang von der analog/analytischen zur digitalen Photogrammetrie in den 90er Jahren mitzugestalten. Immerhin wurde am Institut in Braunschweig noch zu seinen Lebzeiten eine digitale photogrammetrische Arbeitsstation für Nahbereichsanwendungen in ihren Grundzügen entwickelt.

All diese Leistungen erforderten hohe Fachkompetenz, Präzision bei der Formulierung und Analyse von Problemen und Lösungswegen, Durchhaltevermögen, Zielstrebigkeit und immensen Fleiß. Aber WESTER-EBBINGHAUS besaß noch eine weitere Eigenschaft, die maßgeblich zu seinem Erfolg beigetragen hat: soziale und emotionale Intel-

lizenz. An seinen Wirkungsstätten in Bonn, Hannover und Braunschweig war er ein motivierender Kollege, fürsorglicher und fördernder Institutsleiter und zuverlässiger Kooperations- und Projektpartner. Als Hochschullehrer präsentierte er seinen Studenten (aus unterschiedlichen Fachbereichen) lehrreiche, verständliche und spannende Lehrveranstaltungen, die inspirierten und das Interesse am Stoff weckten. Zudem gelang es ihm immer wieder, fähige und interessierte Mitarbeiter zu gewinnen, die er förderte und mit seiner Kreativität und seinem Ideenreichtum motivierte.

Blickt man vom heutigen Standpunkt auf Werk und Wirken von WILFRIED WESTER-EBBINGHAUS zurück, so kann man fragen: Welche seiner Entwürfe und Entwicklungen hatten Bestand, welche seiner Visionen haben sich erfüllt? Natürlich hat sich die Nahbereichsphotogrammetrie in den letzten 10 Jahren kontinuierlich verändert, Hard- und Software wurden weiterentwickelt. Dies wird in den Beiträgen des vorliegenden Heftes deutlich. Neuartige Aufnahmesensoren und hochauflösende Digitalkameras stehen für die bildhafte Aufnahme, Laserscanner für die direkte räumliche Erfassung von Objekten zur Verfügung. Photogrammetrische Industriemesssysteme arbeiten vollautomatisch dank codierter Zielmarken und robuster Mess- und Orientierungssoftware. Sie sind zudem so nutzerfreundlich organisiert, dass sie ohne Mitwirkung des photogrammetrischen Fachmanns funktionieren. Die Anbindung an leistungsfähige CAD Software steigert die Effizienz der Messsysteme. Aus den ermittelten Geometriedaten werden 3D-Modelle, Visualisierungen, Animationen u. a. abgeleitet.

In viele dieser Entwicklungen sind die Gedanken und Arbeiten von WESTER-EBBINGHAUS zur Kamerakalibrierung, kombinierten Ausgleichung und Automatisierung des Messablaufs befruchtend eingeflossen. Zudem erinnere ich mich an einen Vortrag nicht lange vor seinem Tod, in dem WESTER-EBBINGHAUS eine Vielzahl von Messverfahren, wie Streifenprojektions- und Lasertechniken, 3D-Objektrekonstruktion, mittels Ultraschall u. a. mit wenigen Worten und

einer charakterisierenden Skizze vorstellte und darauf hinwies, dass dies alles Arbeitsgebiete seien, für die sich auch der Photogrammeter zuständig fühlen sollte, in Kooperation mit den jeweiligen Fachkollegen. Diese interdisziplinäre Denkweise und die Freude an der Teamarbeit waren Grundeigenschaften von WESTER-EBBINGHAUS, und sie sind beispielgebend für die Beschäftigung mit der Nahbereichsphotogrammetrie und ihrer Anwendung in so vielen ingenieurtechnischen, naturwissenschaftlichen und sonstigen Bereichen.

Zum Abschluss möchte ich Prof. KUPFER (1994) zitieren: „WILFRIED WESTER-EBBINGHAUS sah die Aufgaben in der Nahbereichsphotogrammetrie, und er sah, welche technischen Möglichkeiten sich anboten oder abzuzeichnen begannen. Hinzu kam . . . , dass er das Gesehene in steter zielstrebigere Arbeit real werden ließ, ohne sich durch Nebensächlichkeiten vom eingeschlagenen Weg abbringen zu lassen. . . Ich wünsche, dass die Arbeiten in diesem Geist und auf der Grundlage seiner Ideen weitergehen und dass sein Vorbild zur Nachahmung anspornt, nicht zuletzt als Beitrag zu einer dem Menschen dienenden Technik.“

Literatur

- KUPFER, G. & WROBEL, B., 1993: Wilfried Wester-Ebbinghaus plötzlich verstorben. – Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung, **1993** (5): 202–204.
- KUPFER, G., 1994: Wilfried Wester-Ebbinghaus – Sein Beitrag zur Photogrammetrie. – 13. Wiss.-techn. Jahrestagung der DGPF, Publ. DGPF, Band **2**: 45–52, Berlin.
- PEIPE, J., 1994: Zur Entwicklung der Aufnahmetechnik in der Nahbereichsphotogrammetrie seit 1980 – unter besonderer Berücksichtigung der Arbeiten von W. Wester-Ebbinghaus. – Wiss.-techn. Jahrestagung der DGPF, Publ. DGPF, Band **2**: 89–100, Berlin.

Anschrift des Autors:

Dr.-Ing. RÜDIGER KOTOWSKI
Münsterstr. 19
D-48565 Steinfurt
e-mail: rkotowski@k2-photogrammetry.de

Manuskript eingereicht: September 2003
Angenommen: Oktober 2003

Zur Entwicklung der Aufnahmetechnik in der Nahbereichsphotogrammetrie

JÜRGEN PEIPE, Neubiberg

Keywords: digital camera, image acquisition, CCD sensor, CMOS sensor

Zusammenfassung: In diesem Bericht wird der momentane Stand digitalerameratechnik beschrieben. Spezifika einzelner Kameratypen und Bedingungen für deren Einsatz in der Nahbereichsphotogrammetrie werden genannt.

Summary: *On the development of image acquisition techniques in close range photogrammetry.* In this paper, the state-of-the-art in digital camera technology is described, specific features of several camera types are reported on. Some prerequisites for using these imaging devices for close range photogrammetry applications are discussed.

1 Vorbemerkung

Unter einem ähnlichen Titel veröffentlichte der Autor dieses Beitrags kurz nach dem Tod von WILFRIED WESTER-EBBINGHAUS einen Bericht zum Stand der Technik der in der Nahbereichsphotogrammetrie eingesetzten Kamerasysteme und berücksichtigte dabei insbesondere die Arbeiten des Verstorbenen auf diesem Gebiet (PEIPE 1994). WESTER-EBBINGHAUS war es gelungen, durch den Entwurf von analogen Réseaukameras wie der Rollei SLX/6006 und Rollei LFC die Beschränkungen der bis dahin üblichen Messkameras zu überwinden und so der Nahbereichsphotogrammetrie zu neuen Anwendungsmöglichkeiten, vor allem in der Industrie, zu verhelfen.

Zum damaligen Zeitpunkt stand auch bereits eine Vielzahl digitaler Aufnahmekameras zur Verfügung, und zwar „einfache und preiswerte Camcorder, Standard-CCD-Videokameras mit z. B. 768×512 Bildelementen, noch relativ teure CCD-Kameras höherer Auflösung (1000×1000 bis 4000×4000 Bildelemente) und schließlich Still-Videokameras mit bis zu 1500×1000 Bildelementen“ (PEIPE 1994). WESTER-EBBINGHAUS hat sich mit dem Thema Digitalkameras vor allem im Zusammenhang mit

der Konstruktion des Réseau-Scanners und der Réseau-Scanning-Kamera befasst, außerdem mit Fragen der Kalibrierung und Systemgenauigkeit. In den folgenden Jahren wurden digitale Kameras bekanntlich entscheidend weiterentwickelt in Richtung höhere Auflösung und Speicherfähigkeit, raschere Aufnahmefolge, Qualität der Abbildung etc. Dies führte, zusammen mit immer schnelleren Rechnern und effizienter Software, zur Generierung flexibler, weitgehend automatisierter und nutzerfreundlicher photogrammetrischer 3D-Messsysteme.

2 Anforderungen der photogrammetrischen Messtechnik

Heutzutage werden in der nahbereichsphotogrammetrischen Praxis in der Regel Digitalkameras verwendet – mit Ausnahme einiger Anwendungen in der Architektur, bei denen noch analoge fotografische Aufnahmetechnik zum Einsatz kommt.

Digitale Kameras werden üblicherweise nicht für die speziellen Bedürfnisse der Photogrammetrie hergestellt. Hier sind vor allem hohe Anforderungen an die Stabilität der Kamerageometrie zu nennen, d. h. das System Objektiv-Kamerakörper-Sensor soll

bei der Aufnahme mechanisch stabil sein und möglichst feste Brennweite und feste Fokussierung aufweisen. Abweichungen hiervon führen bestenfalls dazu, den Auswerteaufwand zu erhöhen, z. B. durch aufwändigere Kalibriertechnik (LUHMANN & GODDING 2004), im ungünstigsten Fall sind die Aufnahmen unbrauchbar. Zu bedenken ist, dass die Genauigkeit im Bild bei der automatischen Messung von Zielmarken ca. 0.2–0.5 µm betragen kann, also sehr hoch ist. Unkontrollierte Veränderungen der inneren Orientierung der Aufnahmekamera können daher nicht hingenommen werden.

Hohe Pixelzahl und großes Bildformat sind erwünscht, um Objekte möglichst fein auflösen zu können und eine hohe Genauigkeit der Objektrekonstruktion zu erzielen. Natürlich hängt die auf die jeweilige Anwendung zu beziehende Qualität eines Aufnahmesystems nicht allein von der Pixelzahl ab, sondern – neben den oben genannten Stabilitätskriterien – von äußeren Faktoren wie der Beleuchtung und generell der Kooperation des Objekts (diffuse oder spiegelnde Oberfläche, Messung von natürlichen oder signalisierten Punkten etc.), aber auch von der Fertigungsqualität und dem Zusammenspiel der optischen und elektronischen Komponenten. Wichtig sind zum Beispiel eine zur Auflösung des Sensors passende Objektivauflösung, die Objektivqualität selbst (Abbildungsfehler, Verwendung spezieller „digitaler“ Objektive), ein möglichst fehlerfrei hergestellter Sensor (Fehler einzelner Sensorelemente und Unebenheiten der Sensorfläche können auftreten, vor allem bei großen Sensorflächen), ein günstiges Signal-Rausch-Verhältnis, rasche Bildfolge und rasches Auslesen unkomprimierter oder möglichst verlustfrei komprimierter Bilddaten, ein großer und preiswerter Bilddatenspeicher u.a.m.

Es existieren einige wenige photogrammetrische Spezialentwicklungen, d. h. speziell für Messzwecke entworfene Kameras, in die auch ein Rechner für die automatische Erkennung und Messung signalisierter Punkte integriert ist (Imetric ICam 28 mit 7168 × 4096 Pixel (BEYER 1999) und GSI IN-CA3 mit 3500 × 2350 Pixel (GSI 2003)). Lei-

der erfordern diese Kameras hohe finanzielle Investitionen. Relativ preiswert zeigt sich eine Entwicklung der Fa. Rollei, die Kamera d7 metric⁵ mit 5 Mio. Bildelementen, die eine Reihe metrischer Eigenschaften aufweist. Sensor und Optik sind fest miteinander verbunden, das Objektiv (Festbrennweite) ist in einer bestimmten Entfernungsstellung fixiert (PEIPE & STEPHANI 2003). Hier ist zu erwarten, dass die einmal kalibrierten Werte der inneren Orientierung über einen längeren Zeitraum erhalten bleiben.

Im Folgenden sollen einige Kameratypen kurz beschrieben werden. Als Kriterium gilt zunächst, ob eine Digitalkamera ständig mit einem Rechner verbunden ist (online) oder nicht (offline). Auf (digitale) Camcorder und spezielle Entwicklungen wie scannende bzw. Panoramakameras wird in diesem Bericht nicht näher eingegangen.

3 Online-Digitalkameras

Digitale Kameras mit Rechnerverbindung werden vorzugsweise für fest definierte Aufgaben in der industriellen Fertigung (Produktionsüberwachung, Qualitätssicherung) eingesetzt. In der Regel sind dabei eher hohe Bildraten als hohe Pixelzahlen von Bedeutung. Die Kabelverbindung zwischen Kamera und Rechner dient zum Energie- und Informationstransport. Soll der Kamerateil klein ausfallen, so muss er im Wesentlichen nur Objektiv und Sensor umfassen, während Kamerasteuerung, Stromversorgung, Framgrabber, Datenspeicher etc. im Rechner angeordnet sind. Umgekehrt können wesentliche Teile der Elektronik in die Kamera eingebaut werden, um dadurch die Datenverarbeitung so nah wie möglich an der Bildaufnahme geschehen zu lassen (weniger Datentransfer, bessere Bildqualität).

Während Standard-Videokameras im Videotakt von 25 Bildern pro Sekunde Informationen liefern, können mit Hochgeschwindigkeitskameras wesentlich mehr Bilder bei dennoch recht hohen Pixelzahlen erreicht werden, z. B. 500 Bilder/s mit 1280 × 1024 Pixel (MIKROTRON 2003). Eine High-End Kamera zeigt Leistungsdaten wie 1000 B/s bei 1536 × 1024 Bildpunkten, 2000

B/s bei 1024×768 , 4000 B/s bei 768×512 und 10000 B/s bei 512×192 (WEINBERGER 2003). Bei solchen Bildraten beträgt die Aufzeichnungsdauer insgesamt allerdings nur noch wenige Sekunden.

Die beeindruckenden Spezifikationen dieser Kameras lassen sich aus mehreren Gründen erreichen. Sie sind nicht mehr mit CCD Sensoren, sondern mit CMOS Sensoren ausgerüstet, die gerade in der industriellen Bildverarbeitung entscheidende Vorteile haben (PEIPE & SCHNEIDER 2003). Auf die einzelnen Bildelemente eines CMOS Sensors kann über die Zeilen- und Spaltennummer direkt zugegriffen werden. So kann – im Gegensatz zur sequentiellen Vorgehensweise bei CCD Sensoren – ein CMOS Sensor wesentlich schneller ausgelesen werden, und erst recht, wenn man auf dem Sensor einen Bildausschnitt (ROI = region of interest) definiert und nur diesen ausliest. Weitere Vorteile der CMOS Technik sind hohe Bildkontraste, Anpassung jedes Pixels an die vorhandenen Beleuchtungsverhältnisse, keine Überstrahlungs- und Verschmierungseffekte und geringere Stromaufnahme.

Um die erheblichen Datenmengen solcher schnellen und relativ hoch auflösenden Kameras sinnvoll zu übertragen, bedarf es spezieller digitaler, standardisierter Interfaces (z. B. KIMMELMANN & RAUSCHER 2001). Hier seien – ohne weitere Erläuterungen – die Standards CameraLink und IEEE 1394 (FireWire) genannt.

4 Offline-Digitalkameras

Bei Still Video Kameras sind alle zur Bedienung und zum Betrieb notwendigen Komponenten – inklusive einer wechselbaren Speicherkarte für die Zwischenspeicherung der Bilddaten – in die Kamera selbst eingebaut. Dieser Offline-Kameratyp hat im letzten Jahrzehnt eine rasante Entwicklung erfahren, gekennzeichnet durch stetige Zunahme von Pixelzahl, Sensorformat und Speicherplatz sowie einer damit parallelen Verminderung der Kosten, d. h. es gibt immer mehr Leistung für weniger Geld.

Man unterscheidet preiswerte Consumer-Kameras, konzipiert für den allgemeinen

Gebrauch eines Amateur-/Hobbyfotografen, die allerdings hohe Pixelzahlen (3 bis 5 Megapixel) und modernste Kameratechnik aufweisen, und hochauflösende Profi-Kameras zur Anwendung z. B. in der journalistischen Praxis oder für Katalog- und Still-Life-Fotografie im Studio. Solche Systemkameras mit Spiegelreflex-Technik, Wechselobjektiven und vielen Spezialfunktionen entsprechen in ihrer Arbeitsweise den analogen SLR-Modellen. Im hochpreisigen Segment kommen noch digitale Rückteile hinzu, die an vorhandene (analoge) Kamerakörper adaptiert werden können.

Wie sieht es nun mit der photogrammetrischen Eignung solcher Aufnahmesysteme aus, die generell als Nicht-Messkameras zu bewerten sind? Vorsicht ist bei den Consumer-Kameras geboten, bei denen eine Reihe von Problemen auftreten können, z. B.:

- das Kameragehäuse ist nicht stabil genug, der Sensor nicht fest damit verbunden;
- Zoom und automatische Fokussierung verändern die innere Orientierung;
- relativ niedrig auflösende Objektive aus dem Videobereich;
- kleiner Sensor, kleines Bildformat;
- komprimierte bzw. interpolierte Bilddaten als Ergebnis der Aufnahme etc.

Diese Aufzählung zeigt, dass nur eine der Aufnahmesituation angepasste, oft sogar bildvariante Simultankalibrierung brauchbare Auswertungen ermöglicht (LUHMANN & GODDING 2004). In jedem Fall ist es wichtig, automatische Kamerafunktionen zu deaktivieren und die Kamera sorgsam zu behandeln, wenn es auf die geometrische Genauigkeit ankommt.

Zu achten ist auch auf ausreichenden Speicherplatz auf den Speichermedien der Kamera, da die Original-Bilddaten möglichst nicht durch Komprimierung verändert werden sollen. Hier steht eine Vielzahl von Speichertypen zur Verfügung, wie SmartMedia, CompactFlash, MultiMedia und SecureDigital Karten, IBM Microdrive, Sony MemoryStick und xD card. Manche Kameras lassen nur einen oder wenige Speichertypen zu und beschränken unter Umständen auch die Speichergröße. Schädlich

aus photogrammetrischer Sicht sind Karten, die viel Wärme erzeugen, da dies die Geometrie des Sensors beeinflussen kann.

Digitale Profi-Systemkameras, wie z. B. die Kodak-Baureihe DCS 460/660/760 mit 6 Mio. Pixel, werden schon seit vielen Jahren erfolgreich in der Nahbereichsphotogrammetrie eingesetzt. Sie werden zurzeit abgelöst zum einen durch preiswertere Kameras gleicher Pixelzahl wie Canon EOS 10D, Fuji FinePix S2 Pro und Nikon D100. Zum anderen erscheinen hoch auflösende, relativ teure Kameras mit 11 bzw. 14 Mio. Bildpunkten auf dem Markt, deren CMOS Sensoren erstmals das volle Kleinbildformat abdecken (Canon EOS-1Ds, Kodak DCS Pro 14n). Eine Zusammenstellung der mit solchen Kameras erreichbaren Genauigkeiten findet sich in PEIPE & SCHNEIDER (2003).

Für Mittelformatkameras bietet sich die Nutzung von (teuren) digitalen Kamerarückteilen wie Kodak DCS ProBack (16 Mio. Pixel), Phase-One H25, Sinarback 54 und Leaf Valeo 22 (jeweils mit 22 Mio. Pixel) an. Untersuchungen zu solchen Kamerarückteil-Kombinationen liegen teilweise vor (LUHMANN & GODDING 2004).

5 Fazit und Trends

Der Fotomarkt boomt, die Pixelzahlen steigen, Kameras lösen sich in rascher Folge ab. Neueste Entwicklungen wie der „Four Thirds Standard“ zielen darauf ab, ein Optimum an Bildqualität durch komplette Neukonstruktion der bildgebenden Elemente, vor allem der Objektive zu verwirklichen. Bisher benutzte Objektive waren in der Regel für analoge Kameras konzipiert und konnten die Möglichkeiten hoch auflösender Sensoren nicht in höhere Bildqualität umsetzen.

Bedenkt man den großen Markt für Digitalkameras, so wird dies zu weiteren Entwicklungen und auch weiteren Kostensenkungen führen. CCD und CMOS Sensoren werden für die nächste Zeit nebeneinander existieren. Für photogrammetrische An-

wendungen steht eine Vielzahl geeigneter Kameras zur Verfügung. Um das Potenzial dieser Aufnahmesysteme nützen zu können, sind die Ansätze zur Beschreibung der inneren Orientierung der Kameras weiterzuentwickeln.

Literatur

- BEYER, H.A., 1999: Design and Performance of a Metrology Camera with 6 and 28 Million Pixel CCD-Sensors. – In: EL-HAKIM, S.F. & GRUEN, A. (Hrsg.): Videometrics VI. – SPIE, Vol. **3641**: 194–198.
- GSI, 2003: Kamera INCA3. – www.geodetic.com
- KIMMELMANN, R. & RAUSCHER, E., 2001: Durchblick gefragt. – F&M, **109** (4): Nachdruck (4 S.)
- LUHMANN, T. & GODDING, R., 2004: Messgenauigkeit und Kameramodellierung – Kernfragen der Industriephotogrammetrie. – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation, **2004** (1).
- Mikrotron, 2003: Datenblatt Kamera MC1310/11. – www.mikrotron.de
- PEIPE, J., 1994: Zur Entwicklung der Aufnahmetechnik in der Nahbereichsphotogrammetrie seit 1980 – unter besonderer Berücksichtigung der Arbeiten von W. Wester-Ebbinghaus. – Wiss.-techn. Jahrestagung der DGPF, Publ. DGPF, Band **2**: 89–100, Berlin.
- PEIPE, J. & SCHNEIDER, C.-T., 2003: CCD oder CMOS – Ein Praxisbericht. – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation, **2003** (5): 423–428.
- PEIPE, J. & STEPHANI, M., 2003: Untersuchungen zur Stabilität und metrischen Qualität einer digitalen 5 Megapixel Messkamera. – In: LUHMANN, T. (Hrsg.): Photogrammetrie – Laserscanning – Optische 3D-Messtechnik. – pp. 51–56, Wichmann Verlag, Heidelberg.
- WEINBERGER, 2003: Datenblatt Visario1500. – www.weinbergervision.com

Adresse des Autors:

Dipl.-Ing. JÜRGEN PEIPE
 Universität der Bundeswehr München
 D-85577 Neubiberg
 e-mail: j-k.peipe@unibw-muenchen.de

Manuskript eingereicht: November 2003
 Angenommen: November 2003

Messgenauigkeit und Kameramodellierung – Kernfragen der Industriephotogrammetrie

THOMAS LUHMANN, Oldenburg & ROBERT GODDING, Braunschweig

Keywords: close-range photogrammetry, camera calibration, accuracy, industrial applications

Zusammenfassung: Einhaltung und Nachweis der spezifizierten Messgenauigkeit gehören zu den wichtigsten Kriterien beim Einsatz der Nahbereichsphotogrammetrie im industriellen Umfeld. Der Beitrag fasst die wesentlichen Einflussgrößen auf das photogrammetrische Messergebnis zusammen. Kritische Faktoren bestehen zum einen in der Repräsentation des physischen Messpunktes, z. B. durch Art und Genauigkeit einer Zielmarke. Zum anderen liegen wesentliche Einflüsse in der Güte des verwendeten Aufnahmesensors und seiner mathematischen Beschreibung. Kenngröße für die erreichte Messgenauigkeit eines photogrammetrischen Industriemesssystems ist die ISO-konforme Längenmessabweichung. Der Beitrag beschreibt Möglichkeiten und praktische Erfahrungen bei der Ermittlung dieser Kenngröße. Es wird gezeigt, dass durch geeignete Wahl von Signalisierung, Aufnahmeanordnung und Kameramodellierung die erreichbare Längenmessgenauigkeit optimiert werden kann.

Summary: *Measuring Accuracy and Camera Modelling – Key Issues in Industrial Photogrammetry.* Achieving and proving of the specified measuring accuracy are major criteria for the use of close-range photogrammetry in industrial applications. This report summarizes the essential parameters affecting the photogrammetric measuring result. On the one hand, critical factors are given by the representation of the physical object point, e.g. by type and accuracy of the used target. On the other hand, quality of the applied imaging sensor and its mathematical description are of major importance. The ISO error of length measurement (LME) is used as the parameter for the achieved accuracy of the photogrammetric system. Possibilities and practical experiences for the determination of this parameter are described. We can show that by sufficient choice of targeting, imaging configuration and camera modelling the resulting error of length measurement can be optimised.

1 Einleitung

Die Industriephotogrammetrie erlebte ihre erste Blütezeit Mitte bis Ende der achtziger Jahre, als die Entwicklung großformatiger analoger Kameras, hoch auflösender Bildabtastung und bis dahin verfügbare Rechenverfahren zur Bildmessung und Bündelausgleichung den Einsatz der Photogrammetrie in hochgenauen Anwendungen erlaubte. Bis zu dieser Zeit wurden vor allem manuelle Theodolitmesssysteme bei der Vermessung großer Objekte (z. B. Flugzeugbau, Antennenbau) eingesetzt, die auf Grund ihrer Messgenauigkeit lange Zeit als Referenzverfahren gegolten haben. In der Folgezeit

wurden diese Systeme motorisiert und mit im Strahlengang integrierten CCD-Kameras versehen, die erstmals hochgenaue automatische Messungen online erlaubten (STAI-GER 1992).

Die photogrammetrischen Entwicklungen gingen im Wesentlichen von der Firma Geodetic Services Inc., USA, aus, die mit den Kamerasystemen CRC-1 (230 mm × 230 mm) und CRC-2 (115 mm × 115 mm) sowie dem automatischen Präzisionskomparator AutoSet-1 erstmals ein Komplettsystem für die Industrieanwendung auf den Markt brachten (FRASER & BROWN 1986). Das System erlaubte hohe Messgenauigkeiten durch folgende Merkmale:

- Verwendung kreisförmiger, retro-reflektierender Zielmarken
- Großformatkamera mit réseau-basierter Filmverebnung und Ringblitz
- Digitale subpixel-genaue Punkterkennung und -messung
- Automatische Vororientierung (Näherungswertbestimmung)
- Erweiterte Bündelausgleichung (Ausreißerererkennung, Integration zusätzlicher Beobachtungen, simultane Kamerakalibrierung mit zusätzlichen Parametern)

Etwa zeitgleich wurden auch in Deutschland Bündelausgleichungsverfahren für geodätische und photogrammetrische Beobachtungen entwickelt (KRUCK 1983, WESTER-EBBINGHAUS 1985, HINSKEN 1989). WESTER-EBBINGHAUS untersuchte Anordnungen zur Kamerakalibrierung von Teilmesskameras und entwickelte in Zusammenarbeit mit Rollei Fototechnic, Braunschweig, analoge Mittel- und Großformatkameras mit Réseautechnik (Large Format Camera LFC, 230 mm × 230 mm) sowie einen digitalen Réseaukomparator zur automatischen Bildmessung (LUHMANN & WESTER-EBBINGHAUS 1986). Eine ausführliche Würdigung dieser Arbeiten ist KUPFER (1993) zu entnehmen.

DOLD (1997) führte die Arbeiten im Bereich der hochgenauen Photogrammetrie weiter und schlug bereits ein standardisiertes Verfahren zur Definition und Abnahme der Messgenauigkeit vor, das auf Längenmessungen basiert, wie es für ein spezielles Messsystem von GODDING & LUHMANN (1992) bereits durchgeführt worden war. Die bis dahin übliche Festlegung der erreichten Genauigkeit durch mittlere Standardabweichungen in der Bündelausgleichung ergab zu optimistische Werte, die sich weder mit alternativen Messmethoden (z. B. taktilen Koordinatenmessgeräten) noch untereinander vergleichen ließen (SCHWENKE et al. 1997). DOLDS Vorschläge mündeten in die Gründung des VDI/DGPF-Gemeinschaftsausschusses „Optische 3D-Messtechnik“, der heute ein selbständiger Fachausschuss im VDI/VDE ist (FA 3.32).

Die anschließenden Weiterentwicklungen sind durch konsequente Digitalisierung

praktisch aller Systemkomponenten charakterisiert. Sie ermöglichten die Entwicklung vollautomatischer Messsysteme, die sich in Fertigungsprozesse und andere Abläufe integrieren lassen. Überwiegend kommen dabei handelsübliche, professionelle Digitalkameras oder hoch auflösende Videokameras zum Einsatz, während spezialisierte photogrammetrische Messkameras nur noch in wenigen Produkten enthalten sind. Zur Unterstützung der vollautomatischen Auswertung wurden neue Ansätze in die Berechnungsalgorithmen integriert. Als Beispiel sei die Einführung von L1-Norm-Schätzern zur Berechnung von Näherungswerten und in der Bündelausgleichung genannt, die eine hochgradig robuste Ausreißerererkennung ermöglichen und damit den Auswerteprozess entsprechend unterstützen (FELLBAUM & GODDING 1995, KAMPMANN 1986).

Der heutige Stand in der Industriephotogrammetrie zeichnet sich dadurch aus, dass gegenüber den oben genannten Systemmerkmalen weitere Möglichkeiten hinzugekommen sind (Übersichten z. B. in DOLD 1999, LUHMANN 2003):

- digitale Bildsensoren bis ca. 4000 × 4000 Pixel (ca. 1300 × 1000 Pixel für Videokameras)
- automatische Punktmessung und Zuordnung durch Verwendung codierter Zielmarken
- Online-Einbettung in Prozesse
- Genauigkeit: bis 1:200.000 (1 Sigma, RMS aus Bündelausgleichung)
- bis 1:100.000 für Längenmessabweichung bei optimierter Kalibrierung
- flächenhaft antastende Systeme mit photogrammetrischer Orientierung
- taktil antastende Systeme auf Ein- oder Mehrkamerabasis
- hybride Systeme in der Kombination Kamera/Lasertracker, Laserscanning/Photogrammetrie, Streifenprojektion/Photogrammetrie

Die Verwendung nicht-spezialisierter Aufnahmekameras mit nur unvollständig bekannten internen Signalverarbeitungen sowie häufig mechanisch unzureichenden

Konstruktionen erfordern ein erhöhtes Augenmerk auf das in der Kalibrierung verwendete mathematische Kameramodell. Dies gilt umso mehr, seit in jüngeren Untersuchungen über die erreichbare Längenmessunsicherheit überraschend schlechte Ergebnisse erzielt worden sind (LUHMANN et al. 2001, RAUTENBERG & WIGGENHAGEN 2002). Zudem wachsen in der Praxis die Anforderungen an die Genauigkeit gepaart mit der Erwartung, Messunsicherheiten stets im Zusammenhang mit der Rückführbarkeit auf die Einheit Meter anzugeben.

2 Definition der Messgenauigkeit

Photogrammetrische Systeme liefern 3D-Koordinaten, deren Messunsicherheit bekanntermaßen von vielen Parametern abhängt. Im Wesentlichen sind dies der Abbildungsmaßstab m_b , die Bildmessgenauigkeit eines Punktes dx' , die Aufnahmeconfiguration (Anordnung und Anzahl der Bilder im Raum) sowie äußere Bedingungen (Beleuchtung, Temperatureinflüsse usw.). In guter Näherung kann die Objektgenauigkeit dX für alle Koordinatenrichtungen angegeben werden mit

$$dX = q \cdot m_b \cdot dx', \quad (1)$$

wobei der Design-Faktor q Einflüsse durch Aufnahmeconfiguration und sonstige Effekte berücksichtigt.

Üblicherweise entstehen 3D-Koordinaten als Ergebnis einer Bündelausgleichung, d. h. simultan mit der Bestimmung sämtlicher anderer Systemparameter oder als Ergebnis eines räumlichen Vorwärtsschnittes, in den a priori bestimmte Orientierungs- und Kalibrierungsdaten eingehen. In beiden Fällen erhält prinzipiell jeder gemessene Objekt-punkt eine individuelle Messunsicherheit, da im Allgemeinen weder q noch m_b für eine Messaufgabe konstant sind.

Die aus einer Bündelausgleichung berechenbare mittlere Genauigkeit aller Objekt-punkte i folgt üblicherweise aus der Berechnung des RMS-Wertes aus sämtlichen Standardabweichungen a posteriori:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum (s_i)^2}{n}} \quad (2)$$

mit

$$s_i = s_0 \cdot \sqrt{q_{ii}}$$

Dabei sind q_{ii} die Elemente der Hauptdiagonalen der Kofaktormatrix der ausgeglichenen Objektkoordinaten. s_0 bezeichnet die Standardabweichung der Gewichtseinheit, also einer Beobachtung mit dem Gewicht 1. Mangels genauerer Kenntnisse werden üblicherweise alle Beobachtungen (hier: gemessene Bildkoordinaten) gleich gewichtet, obwohl bekannt ist, dass die Messgenauigkeit eine Funktion der Lage im Bild, des Bildkontrastes, der Objektsignalisierung, des Punktmessverfahrens usw. ist. Die nach der Ausgleichung verbleibenden Restklaffungen (Residuen) zeigen dabei lediglich, inwieweit das gewählte mathematische (funktionale) Modell mit den Beobachtungen zusammenfällt. Etwaige Diskrepanzen gehen nicht nur in die Residuen ein, sondern werden als Eigenschaft der Kleinsten-Quadrate-Lösung auch in andere Parameter gedrückt, z. B. in Parameter der inneren oder äußeren Orientierung, auch wenn es dafür keine physikalisch begründbaren Ursachen gibt. Ausgegliche Parameter sind somit korreliert und entsprechend abhängig voneinander. Demzufolge geben sämtliche Standardabweichungen nur ein Maß für die innere Genauigkeit des Systems an, das gleichwohl sehr nützlich für die Beurteilung der Ausgleichungsqualität oder für die Suche nach groben Fehlern ist.

Wird ein räumlicher Vorwärtsschnitt für die Koordinatenberechnung verwendet, gehen in der Regel vorab durch Bündelausgleichung ermittelte Orientierungsdaten ein. Korrelationen zwischen den Parametern werden üblicherweise vernachlässigt. Wird der allgemeine Vorwärtsschnitt auf der Basis der Kollinearitätsgleichungen verwendet, kann die dabei berechnete Standardabweichung als kleinster Abstand zwischen den (windschiefen) Raumstrahlen als Genauigkeitskriterium interpretiert werden. Es lässt sich jedoch am Beispiel einer einfachen Stereokonfiguration leicht zeigen, dass ein

Messfehler im Bild nicht zwingend zu einer Klaffung der Raumstrahlen führt, die somit ebenfalls kein durchgreifendes Genauigkeitsmaß ist.

Die seit einiger Zeit eingeführte Richtlinie VDI/VDE 2634 (VDI 2000) überprüft ein punktförmig antastendes optisches 3D-Messsystem durch Ermittlung von Längen, die mit ihren kalibrierten Solllängen verglichen werden. Die dabei definierte Kenngröße Längenmessabweichung ist leicht zu ermitteln und zu interpretieren. Sie ist außerdem konform zu einschlägigen ISO-Normen (ISO 10360) und gewährleistet Rückführbarkeit auf die Einheit Meter. Angabe der Messunsicherheit und Rückführbarkeit gehören untrennbar zusammen und werden in Zukunft in der industriellen Praxis verlangt.

Der wesentliche Unterschied zur Angabe innerer Genauigkeiten liegt in der Tatsache begründet, dass die erreichte Längenmessunsicherheit 100 Prozent aller Messungen enthält, statistisch gesehen also einem Intervall von >3 Sigma entspricht. Die theoretische Genauigkeit einer Strecke zwischen zwei ausgeglichenen Objektpunkten ergibt sich für jeweils gleiche Standardabweichungen in X, Y und Z ($s_{x1} = s_{x2}$; $s_{y1} = s_{y2}$ usw.) zu

$$s_S^2 = \frac{2}{S^2} \cdot ((x_2 - x_1)^2 \cdot s_x^2 + (y_2 - y_1)^2 \cdot s_y^2 + (z_2 - z_1)^2 \cdot s_z^2) \quad (3)$$

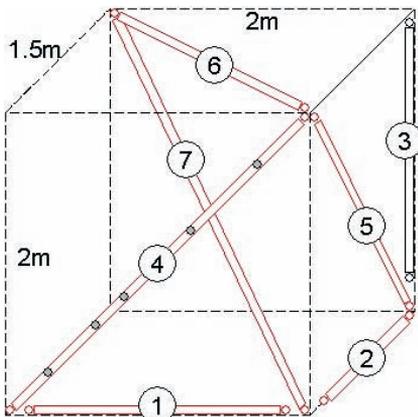


Abb. 1: Anordnung von Prüflängen nach VDI 2634.

und für gleiche Standardabweichungen in allen Richtungen ($s_x = s_y = s_z$) zu:

$$s_S^2 = \frac{2s_{xyz}^2}{S^2} \cdot ((x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2) \quad (4)$$

Werden die Standardabweichungen mit 3 multipliziert, ergibt sich die zu erwartende Streckengenauigkeit also zu

$$s_S = 3 \cdot \sqrt{2} \cdot s_{xyz} = \sqrt{18} \cdot s_{xyz} \quad (5)$$

Beispiel: Die gerechnete Strecke zwischen zwei Punkten mit den einfachen Standardabweichungen $s_{xyz} = \pm 0,02$ mm ergibt sich bei dreifachem Sicherheitsintervall zu $s_S = \pm 0,08$ mm.

Bei richtlinienkonformer Durchführung einer Systemprüfung werden dabei alle Koordinatenrichtungen und Raumdiagonalen sowie Strecken unterschiedlicher Länge gemessen (Abb. 1), die von einer anerkannten Prüfstelle (z. B. PTB oder DKD) kalibriert und zertifiziert sein müssen. Damit stellt die Längenmessunsicherheit ein durchgreifendes Maß einer äußeren Genauigkeit dar. Abb. 2 zeigt einen praktischen Messaufbau zur VDI-konformen Genauigkeitsüberprüfung.

Bereits heute wird in der industriellen Messtechnik die Angabe einer aufgabenspezifischen Messgenauigkeit gefordert: Ziel ist die Vorhersage über die zu erwartende Messgenauigkeit bei einer bestimmten Anwen-

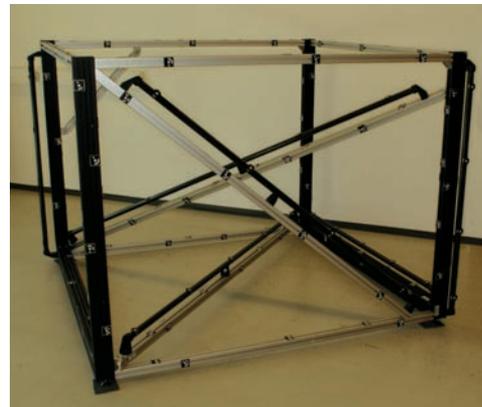


Abb. 2: Messaufbau zur Ermittlung der Längenmessunsicherheit (AICON).

dung. Für photogrammetrische Messsysteme ist diese Forderung in naher Zukunft noch nicht erfüllbar und ist momentan Gegenstand intensiver Forschung.

3 Kameramodelle

Der Begriff Kameramodell wird zunehmend in Ersatz der klassischen Parameter der inneren Orientierung verwendet. Ziel ist die korrekte mathematische Beschreibung des Abbildungsvorganges in einem Bildaufnahmesystem bestehend aus optischen, mechanischen, elektronischen und programmtechnischen Komponenten. Der klassische Ansatz besteht aus der Angabe der räumlichen Lage des Projektionszentrums (Kamerakonstante, Bildhauptpunkt) sowie Parametern zur Beschreibung von Abbildungsfehlern (Verzeichnung, Bilddeformationen usw.). Bekannte Parametersätze beschreiben u.a. BROWN (1971), KRUCK (1983), GODDING (1993), für eine Zusammenfassung siehe LUHMANN (2003).

Die Parameter eines Kameramodells werden üblicherweise im Rahmen einer Selbstkalibrierung on-the-job, also im Zuge der Objektauswertung, bestimmt. Die Güte der numerischen Kalibrierung hängt dabei wesentlich von einer geeigneten Aufnahme-konfiguration ab, die hinsichtlich minimaler Korrelationen zwischen den Modellparametern optimiert werden kann (GODDING 1993). Die üblichen Strategien basieren auf der Annahme, dass die verwendete Kamera über eine Bildserie konstante Parameter aufweist.

Die heute eingesetzten Digitalkameras genügen dieser Annahme jedoch nur selten und bei vorsichtiger Handhabung. Es liegt daher nahe, die von Bild zu Bild möglichen Veränderungen eines Aufnahmesystems ebenfalls zu modellieren. Erste erfolgreiche Ansätze dazu zeigt MAAS (1999) mit einer bildvarianten Einführung von Kamerakonstante und Hauptpunktlage in den Kalibrierungsprozess. Ein erweitertes Kameramodell beschreiben TECKLEBURG et al. (2001), das neben der bildvarianten Lage des Projektionszentrums sowohl einen Autokollimationspunkt für die radial-symmetrische Verzeichnung als auch ein Korrekturgitter

für die Sensoroberfläche auf Basis finiter Elemente enthält, die gemeinsam im Rahmen einer Bündelausgleichung geschätzt werden. Zu beachten ist, dass die jeweilige mathematische Modellierung das physikalische Verhalten der entsprechenden Kamera tatsächlich beschreibt, um die Gefahr einer Über- oder Falschparametrisierung auszuschließen.

Zahlreiche systematische Reihenuntersuchungen an verschiedenen handelsüblichen Kameras haben die Leistungsfähigkeit des erweiterten Ansatzes demonstriert. Genauigkeitssteigerungen um den Faktor 4 können gegenüber herkömmlichen Bündelausgleichungen erzielt werden. Die erreichbare Längenmessunsicherheit wird im Schnitt um etwa 30 Prozent gesteigert (siehe Kap. 4).

4 Praktische Versuche

Im Rahmen der Produktentwicklung für optische Messsysteme sind neue Ansätze zur Verbesserung der Genauigkeit zunächst durch zahlreiche Tests zu verifizieren, bevor sie Eingang in ein Produkt finden. Im Folgenden sind zwei dieser Tests beschrieben.

4.1 Bildvariante innere Orientierung

Zur Verifizierung des Einflusses einer nicht stabilen inneren Orientierung wurde ein Referenzkörper entsprechend Kapitel 2 (Abb. 2) verwendet. Der Körper wurde mit einer älteren Kodak DCS460 aufgenommen. Die Kamera wurde zwischen den Aufnahmen mechanisch stark belastet sowie mehrmals das PCMCIA Laufwerk gewechselt. Entsprechend zeigten sich bei der Auswertung mit einem Standardansatz starke Abweichungen von den Sollstrecken mit einer Spanne von ca. 0,2 mm (Abb. 3).

Der gleiche Datensatz wurde dann mit einem modifizierten Ansatz erneut berechnet. In diesem Ansatz werden einige Parameter der inneren Orientierung (insbesondere Kamerakonstante und Hauptpunktlage) variabel eingeführt. Abb. 3 zeigt die entsprechenden Ergebnisse mit einer resultierenden Spanne von nur noch 0,07 mm.

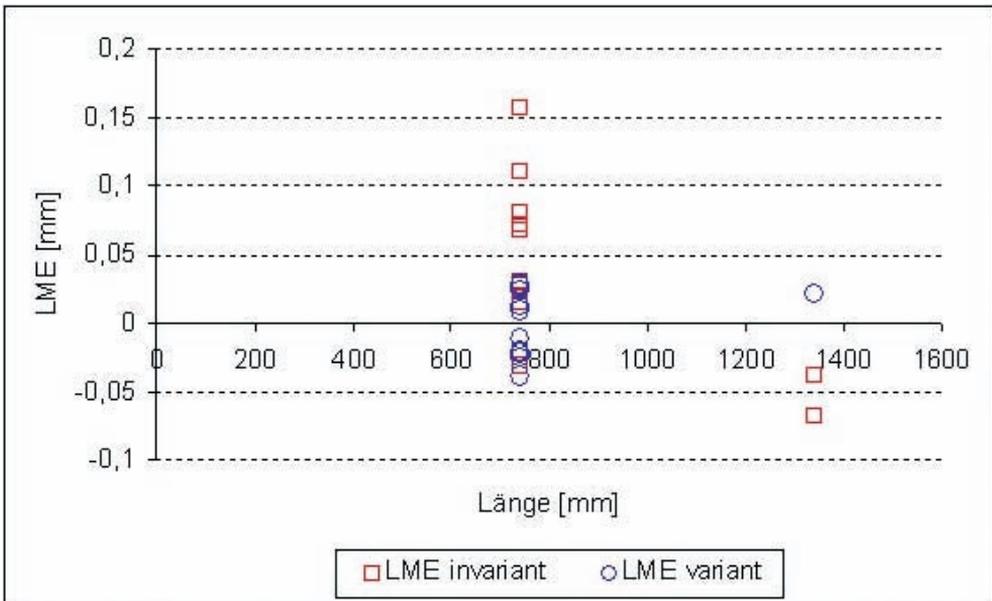


Abb. 3: Längenmessabweichung (LME) bei invarianter (\square) und varianter (\bullet) innerer Orientierung.

4.2 Sensorkorrekturgitter

In diesem Beispiel wurde eine hochauflösende Digitalkamera Kodak DCS645M mit 4072×4072 Pixel verwendet (Abb. 4). Die Kamera verfügt über eine wenig stabile Sensoraufhängung, zeigt aber hervorragende optische Eigenschaften (JANTOS et al. 2002). Insgesamt wurden 53 Bilder eines Testfeldes (ca. $2 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}$) aufgenommen, das wiederum über zahlreiche kalibrierte Sollstrecken verfügt.



Abb. 4: Kodak DCS645M (4072×4072 Pixel) mit 35 mm-Objektiv.

Die Kamera wurde freihand gehalten und mit CompactFlash-Speicherkarten betrieben, die zu einer nur geringen Erwärmung führen. Für die Auswertung mit dem Bündelausgleichsprogramm FiBun wurde ein Korrekturgitter von 2 mm Abstand eingeführt und eine bildvariante Lage des Projektionszentrums zugelassen.

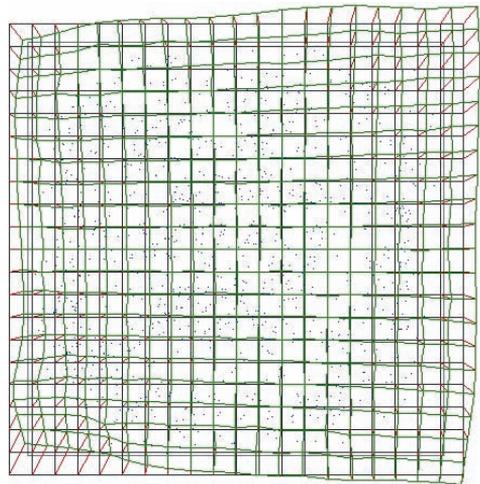


Abb. 6: Ausgeglichenes Finite-Elemente-Sensorkorrekturgitter.

Die Auswertung ergab mittlere Objektgenauigkeiten von Neupunkten zwischen 12 und 14 μm in allen Koordinatenrichtungen. Abb. 6 zeigt die über die Bildserie ermittelten Bewegungen des Projektions-

zentrums, die im Maximum 27 μm erreichen. Abb. 5 stellt das simultan mitbestimmte Korrekturgitter für den Bildsensor dar. Die resultierende Spanne der Längenmessabweichungen beträgt $\pm 0,04 \text{ mm}$ (Abb. 7).

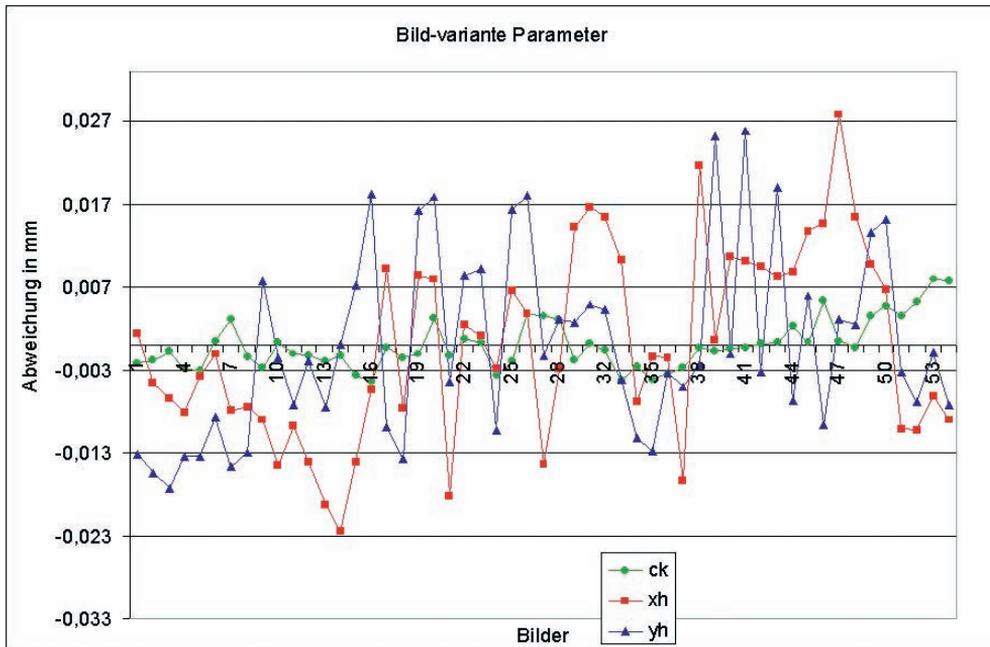


Abb. 5: Bewegungen des Projektionszentrums während der Aufnahmeserie.

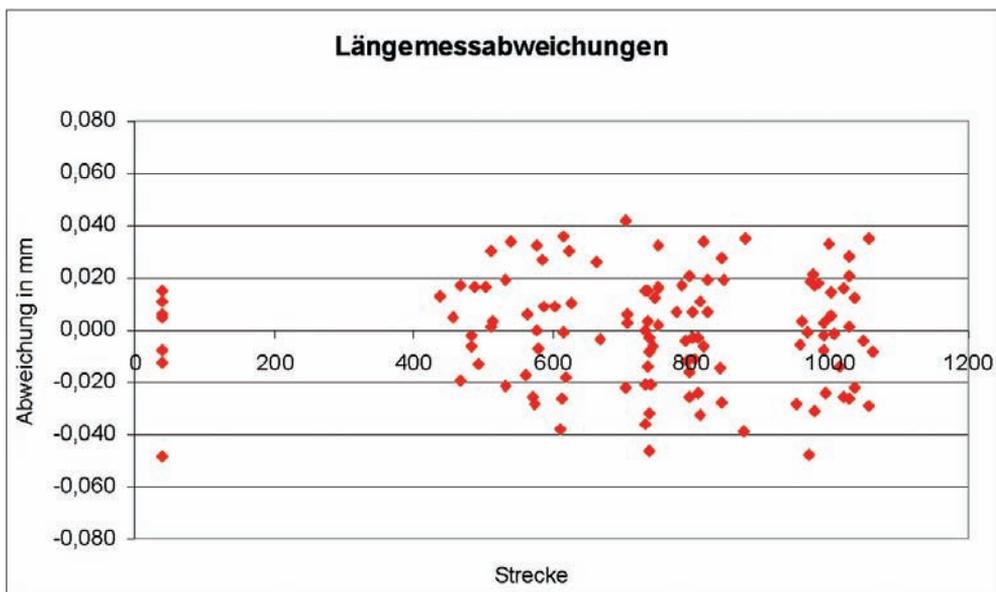


Abb. 7: Längenmessabweichung (LME) bei varianter innerer Orientierung mit Sensorgitter.

Nach Gleichung (1) resultiert eine theoretische Längenmessunsicherheit von 0,02 mm bei 1 Sigma, entsprechend einer relativen Längenmessgenauigkeit von 1:130.000 für die maximale Raumdiagonale des Messvolumens von 2,7 m, bzw. 1:44.000 bei 3 Sigma.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Messgenauigkeit eines photogrammetrischen Industriemesssystems ist das Ergebnis eines komplexen Zusammenspiels zahlreicher Faktoren. Neuere, auf die Ermittlung äußerer Genauigkeitsangaben zielende Untersuchungen und Testmessungen verschiedener Autoren legen die Vermutung nahe, dass die herkömmliche Modellierung der Abbildungsgeometrie neuer digitaler Aufnahmesysteme im gewünschten Genauigkeitsniveau weniger hundertstel Pixel im Bildraum nicht genügt und – insbesondere für hochgenaue Anwendungen – präziser als in der Vergangenheit beschrieben werden muss.

Der vorgelegte Bericht stellt Lösungsmöglichkeiten zur Genauigkeitssteigerung vor und weist deren Wirksamkeit anhand verschiedener praktischer Beispiele nach. Dabei wird die ISO-konforme Längenmessunsicherheit als Genauigkeitskriterium verwendet. Bezogen auf Längenmessungen lassen sich heute relative Genauigkeiten im Bereich von 1:100.000 erreichen, wenn hochauflösende Bildsensoren, präzise Signalisierung und geeignete Kameramodelle eingesetzt werden.

Die industrielle Praxis verlangt in Zukunft nicht nur eindeutige und handhabbare Genauigkeitsnachweise, sondern auch Systeme, die unter allen spezifizierten Betriebsbedingungen einwandfrei funktionieren. Letzterer Aspekt wird umso wichtiger, je mehr die photogrammetrischen Systeme in laufende Prozesse eingebunden sind. Wirtschaftlichkeit ist dabei weniger eine Frage der Anschaffungskosten, als vielmehr das Ergebnis eines voll funktionsfähigen Messbetriebes unter den gewünschten Umgebungsbedingungen.

Industrielle photogrammetrische Messsysteme sind heute üblicherweise nicht zer-

tifiziert. Die Hersteller können sich auf die in ISO 9000ff. spezifizierten Vorgaben beschränken. Die inzwischen eingeführte Richtlinie VDI/VDE 2634 leistet einen ersten Beitrag zur Vereinheitlichung von Genauigkeitsangaben und zu deren Überprüfung durch den Anwender.

Literatur

- BROWN, D.C., 1971: Close-range camera calibration. – *Photogrammetric Engineering*, **37** (8): 855–866.
- DOLD, J., 1997: Ein hybrides photogrammetrisches Industriemesssystem höchster Genauigkeit und seine Überprüfung. – Dissertation, Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Heft **54**, 137 S., Universität der Bundeswehr, München.
- DOLD, J., 1999: Stand der Technik in der Industriephotogrammetrie. – *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation*, **1999** (2): 113–126.
- FRASER, C.S. & BROWN, D.C., 1986: Industrial photogrammetry – new developments and recent applications. – *The Photogrammetric Record* **12** (68): 197–217.
- FELLBAUM, M. & GODDING, R., 1995: Economic solutions in photogrammetry through a combination of digital systems and modern estimation techniques. – *Optical 3D-Measurement Techniques III*, pp. 362–371, Wichmann Verlag, Heidelberg.
- GODDING, R., 1993: Ein photogrammetrisches Verfahren zur Überprüfung und Kalibrierung digitaler Bildaufnahmesysteme. – *Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung*, **1993** (2): 82–90.
- GODDING, R. & LUHMANN, T., 1992: Calibration and accuracy assessment of a multi-sensor online-photogrammetric system. – *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. **29** (5): 24–29, Washington.
- HINSKEN, L., 1989: CAP: Ein Programm zur kombinierten Bündelausgleichung auf Personalcomputern. – *Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung*, **1989** (3): 92–95.
- ISO 10360-2: Koordinatenmesstechnik – Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Koordinatenmessgeräten. – Beuth Verlag, Berlin.
- JANTOS, R., LUHMANN, T., PEIPE, J. & SCHNEIDER, C.-T., 2002: Photogrammetric performance evaluation of the Kodak DCS Pro Back. – *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. **34** (5): 42–47.

- KAMPMANN, G. (1986): Robuster Ausreißertest mit Hilfe der L1-Norm-Methode. – Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, **93**: 139–147.
- KRUCK, E., 1983: Lösung großer Gleichungssysteme für photogrammetrische Blockausgleichungen mit erweitertem funktionalen Modell. – Dissertation, Universität Hannover.
- KUPFER, G., 1993: Wilfried Wester-Ebbinghaus – Sein Beitrag zur Photogrammetrie. – Publikationen der DGPF, **2**: 45–52, Augsburg.
- LUHMANN, T., 2003: Nahbereichsphotogrammetrie. – 2. Aufl., 586 S., Wichmann Verlag, Heidelberg.
- LUHMANN, T., RINGEL, H. & WENDT, K., 2001: Abnahme und Überwachung photogrammetrischer Messsysteme – Erste Erfahrungen mit der VDI-Richtlinie 2634. – Fachtagung Koordinatenmesstechnik, Erlangen, VDI-Berichte 1618.
- LUHMANN, T. & WESTER-EBBINGHAUS, W., 1986: Hochauflösende digitale Bildabtastung mit optisch-numerischer Sensororientierung. – In: HARTMANN (ed.): 8. DAGM-Symposium Paderborn 1986, pp. 71–78, Springer Verlag.
- MAAS, H.-G., 1999: Ein Ansatz zur Selbstkalibrierung von Kameras mit instabiler innerer Orientierung. – Publikationen der DGPF, **7**: 47–53, Berlin.
- RAUTENBERG, U. & WIGGENHAGEN, M., 2002: Abnahme und Überwachung photogrammetrischer Messsysteme nach VDI 2634, Blatt 1. – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation, **2002** (2): 117–124.
- SCHWENKE, H., WÄLDELE, F. & WENDT, K., 1997: Überwachung und Messunsicherheit von optischen 3D-Meßsystemen. – Optische Formfassung, GMA-Bericht, **30**: 271–280, Langen.
- STAIGER, R., 1992: Automatische und dynamische Koordinatenmessung mit mobilen Sensorsystemen. – In: WELSCH et al. (ed.): Geodätische Messverfahren im Maschinenbau. – Schriftenreihe DVW, **1992** (1): 81–96, Wittwer Verlag, Stuttgart.
- TECKLENBURG, W., LUHMANN, T. & HASTEDT, H., 2001: Camera modelling with image-variant parameters and finite elements. – In: GRUEN/KAHMEN (ed.): Optical 3-D Measurement Techniques V. – pp. 328–335, Wichmann Verlag, Heidelberg.
- VDI, 2000: Optische 3D-Messsysteme. VDI/VDE-Richtlinie 2634, Blatt 1–2, Beuth Verlag, Berlin.
- WESTER-EBBINGHAUS, W., 1985: Bündeltriangulation mit gemeinsamer Ausgleichung photogrammetrischer und geodätischer Beobachtungen. – Zeitschrift für Vermessungswesen, **110** (3): 101–111.
- WESTER-EBBINGHAUS, W., 1985: Verfahren zur Feldkalibrierung von photogrammetrischen Aufnahmekammern im Nahbereich. – In: KUPFER/WESTER-EBBINGHAUS (ed.): Kammerkalibrierung in der photogrammetrischen Praxis. – Deutsche Geodätische Kommission, Reihe B, Heft Nr. **275**: 106–114.
- WESTER-EBBINGHAUS, W. 1992: Photogrammetrische Systeme in der industriellen Messtechnik. – Geodätische Messverfahren im Maschinenbau, Schriftenreihe DVW, **1992** (1): 165–181, Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart.

Anschriften der Autoren:

Prof. Dr.-Ing. THOMAS LUHMANN
 Institut für Angewandte Photogrammetrie und
 Geoinformatik
 Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/Wil-
 helmshaven
 Ofener Str. 16, D-26121 Oldenburg
 Tel.: 0441-7708-3172, Fax: 0441-7708-3170
 e-mail: luhmann@fh-oldenburg.de

Dipl.-Ing. ROBERT GODDING
 AICON 3D Systems GmbH
 Biberweg 30 C, D-38114 Braunschweig
 Tel.: 0531-58 000 58, Fax: 0531-58 000 60
 e-mail: robert.godding@aicon.de

Manuskript eingereicht: September 2003
 Angenommen: Oktober 2003

Photogrammetrische 3D-Messsysteme

CARL-THOMAS SCHNEIDER, Braunschweig

Keywords: 3-D measuring system, industrial photogrammetry, automatic measurement, coded targets

Zusammenfassung: Seit der Einführung PC-basierter photogrammetrischer 3D-Messsysteme für Anwendungen im Nahbereich wie Architektur oder industrielle Messtechnik hat sich durch den stetig gewachsenen Automatisierungsgrad ein immer breiteres Anwendungsfeld erschlossen. Dieser Beitrag beschreibt die einzelnen Entwicklungsstadien anhand repräsentativer Systeme mit ihren spezifischen Merkmalen aus den jeweiligen Anwendungsgebieten.

Summary: *Photogrammetric 3-D Measuring Systems.* PC based photogrammetric 3-D measurement systems for close range applications have become increasingly automated in the past decades. Since then more and more applications in architecture or industry could be performed. This publication covers the development stages by describing the relevant systems with their specific features for the fields of application.

1 Einleitung

Seit der Einführung PC-basierter 3D-Messsysteme für die Nahbereichsphotogrammetrie ist ihre Weiterentwicklung geprägt von dem Ziel, die Verarbeitung der Standardauswerteroutinen stets weiter zu vereinfachen und zu automatisieren. Diese Entwicklung lässt sich beispielhaft an Systemen für die Anwendungsgebiete Architektur- bzw. Industriephotogrammetrie beschreiben, die die unterschiedlichen Entwicklungsschritte der Automatisierung widerspiegeln.

Der folgende Beitrag beschäftigt sich mit 3D-Messsystemen, die primär für den Einsatz in der Nahbereichsphotogrammetrie entwickelt worden sind. Selbstverständlich sind viele dieser Aufgaben ebenfalls mit analytischen Plottern oder anderen digitalen Systemen aus dem Bereich der Luftbildphotogrammetrie oder der Fernerkundung zu lösen, diese werden jedoch im Folgenden nicht näher behandelt.

2 3D-Messsysteme in der Nahbereichsphotogrammetrie

3D-Messsysteme in der Nahbereichsphotogrammetrie basieren auf dem photogrammetrischen Grundprinzip, ein Objekt mit Bildern aufzunehmen und anhand dieser Bilder die Merkmale des Objekts zu vermessen. Abwandlungen dieses Prinzips sowie Kombinationen mit zusätzlichen Hilfsmitteln wie Tastspitzen oder spezielle Beleuchtungsprinzipien finden sich in Kapitel 3.

Die so definierten Systeme werden in zwei Hauptanwendungsrichtungen eingesetzt, der Architekturphotogrammetrie (inkl. Bauvermessung, Archäologie, Unfallaufnahme) und der industriellen Messtechnik. Während bei der Architekturphotogrammetrie überwiegend natürliche Merkmale von Gebäuden vermessen werden, wird bei industriellen Anwendungen meist die Lage von künstlich signalisierten Punkten gesucht.

2.1 Systeme für die Architekturphotogrammetrie

In der Mitte der achtziger Jahre wurden die ersten Architekturphotogrammetrie-Systeme vorgestellt, die statt mechanisch bewegter Komponenten aus Personalcomputer, Digitizer und Auswertesoftware bestanden (Abb. 1). Dadurch ließ sich zum ersten Mal ein Massenmarkt erschließen, da die Investitionskosten gering waren und sich die Möglichkeit bot, Nahbereichsphotogrammetrie zum Standardwerkzeug eines Ingenieurbüros werden zu lassen (siehe ZINNDORF 2004, in diesem Heft).

Die ersten kommerziell verfügbaren Systeme bestanden aus einem handelsüblichen Digitalisiertablett, zunächst DOS-basiertem Personalcomputer und einer Software, die Bildmessung, Bildorientierung, grafische Auswertung und Ergebnisdarstellung erlaubte. Solche Systeme waren z. B. Rollei MR2 und Leica Elcovision (KINZEL & POMASKA 1988, ZINNDORF 2004). Zur Bildaufnahme wurden Réseaukameras verwendet, die durch ein vor der Bildebene angebrachtes Kreuzraster ermöglichten, ein kamerafestes Bildkoordinatensystem zu definieren und zusätzlich Filmverzug und -wölbung rechnerisch zu korrigieren (WESTER-EBBINGHAUS 1989).

Der Einsatzbereich dieser Systeme war durch die erzielbare Genauigkeit begrenzt. Da sämtliche Bildmessungen per Messlupe auf dem Digitalisiertablett durchgeführt wurden, ließen sich relative Messgenauigkeiten bis ca. 1:5000 erreichen. Dies beein-



Abb. 1: Architekturphotogrammetrie-System.

trächtigte jedoch nicht die weite Verbreitung der Systeme in den Bereichen Architektur, Archäologie, Denkmalpflege, Bauwesen oder auch polizeiliche Unfallaufnahme bzw. kriminalistische Beweissicherung.

Der nächste Entwicklungssprung gelang durch die Verarbeitung digitaler Bilder Anfang der neunziger Jahre. Hierzu wurde die Hardware ergänzt um Bildscanner, mit denen entweder Papiervergrößerungen oder direkt Dias oder Negative gescannt wurden. Durch die Verwendung digitaler Bilder wurden die Digitalisiertablets nicht mehr benötigt, die Bilder konnten direkt am Monitor über Cursor, kombiniert mit Zoom-Funktion, gemessen werden. Ein wesentlicher Vorteil digitaler Bilder besteht zudem darin, dass es erstmalig möglich war, über spezielle Bildverarbeitungsverfahren einige Messfunktionen zu automatisieren. Hierzu zählte zunächst die automatische Erkennung und Messung der Réseaukreuze, ein Teil des Auswerteprozesses, der bei manueller Auswertung sehr zeitaufwendig ist und die erzielbare Genauigkeit stark beeinflusst. Daneben war die einfache Herstellung digitaler Entzerrungen möglich, die eine kostengünstige Alternative zur Strichzeichnung darstellt.

Inzwischen haben digitale Kameras die klassischen filmbasierten Réseaukameras weitgehend ersetzt. Digitalkameras besitzen heute Sensoren mit bis zu 4500×3000 Bildelementen, mit denen sich Auflösungen in ähnlicher Größenordnung wie bei Kleinbildern erzielen lassen. Erste Kameras mit sinnvoller Auflösung von 3000×2000 Bildelementen standen schon seit Mitte der neunziger Jahre zur Verfügung, waren jedoch auf Grund ihrer hohen Kosten nicht im gleichen Preissegment wie die übrigen Systemkomponenten verfügbar.

Die heutigen Entwicklungsarbeiten an diesen Systemen beschäftigen sich mit der automatischen Extraktion von Bildelementen. Ziel ist, natürliche Merkmale wie Hauskanten, Fensteröffnungen, Straßenkanten etc. automatisch zu erkennen und ihre Position im Bild zu bestimmen. Dies wird dazu dienen, die Auswertung weiter zu vereinfachen und die Auswertezeiten zu verkürzen.

2.2 Systeme für industrielle Anwendungen

Die im vorigen Kapitel beschriebenen Systeme wurden zunächst auch für Anwendungen im industriellen Umfeld eingesetzt, fanden jedoch wegen der nicht ausreichenden Genauigkeit kaum Nutzer. Zur Erhöhung der Genauigkeit waren größere Bildformate und feinere Réseaugitter notwendig. Aus diesem Grund entstanden Ende der achtziger Jahre für den Nahbereich einsetzbare Großformatkameras mit einem Bildformat von $23\text{ cm} \times 23\text{ cm}$ (FRASER & BROWN 1986, RIECHMANN 1990). Die fotografischen Bilder dieser Kameras wurden mit PC-gesteuerten Réseauscannern ausgewertet, bei denen das ursprüngliche Bild partiell gescannt und ausgewertet wurde (Abb. 2). Da im Gegensatz zu Anwendungen in der Architekturphotogrammetrie nur einzelne signalisierte Punkte zu erfassen sind, genügt es, nur die Teile des Bildes zu scannen, in denen sich Messpunkte abbilden. Die gesuchten Objektpunkte werden mit kreisförmigen Messmarken signalisiert, die sich im Bild auf Grund der perspektivischen Verzerrung als Ellipsen abbilden. Spezielle Bildverarbeitungsoperatoren ermöglichen ihre präzise Mittelpunktbestimmung (LUHMANN 1986).

Erst die Markteinführung von Digitalkameras mit 3000×2000 Bildelementen Mitte der neunziger Jahre ermöglichte eine breite Nutzung der Nahbereichsphotogrammetrie im industriellen Umfeld. Während die hochauflösende Réseaukamera inkl. Scanner einen Systempreis von ca. 150.000 Euro bedeutete, waren nun Systempreise von 50.000 bis 60.000 Euro möglich.

Ein weiterer Schritt zur automatischen Auswertung war die Entwicklung der co-



Abb. 2: Auswertesystem mit Réseauscanner.



Abb. 3: Industriemesssystem mit Digitalkamera.

dierten Zielmarke (SCHNEIDER 1991). Dabei wird eine konventionelle kreisförmige Messmarke mit einem zusätzlichen Codering oder anderem maschinenlesbarem Code erweitert (Abb. 4). Dieser Code lässt sich ebenso wie die Messmarke selbst im Bild automatisch erkennen und detektieren. Dies ermöglicht die automatische Zuordnung homologer Punkte ohne manuellen Eingriff. Unter dieser Voraussetzung ist ein automatischer Auswerteprozess von der Bildaufnahme über Bildmessung und Orientierung bis zur Koordinatenberechnung möglich.

Seit 1995 werden solche Systeme für die unterschiedlichsten Messaufgaben eingesetzt und sind heute in vielen Industriezweigen ein Standardmessmittel. Die Kamertechnik hat sich stets weiterentwickelt hin zu größeren Sensoren und in die Kamera integrierter Intelligenz. So bietet die Kameraserie INCA I–III (BROWN & DOLD 1995) einen in die Kamera integrierten PC zur Vorverarbeitung der Bilder. Heute stehen handelsübliche Digitalkameras mit bis zu

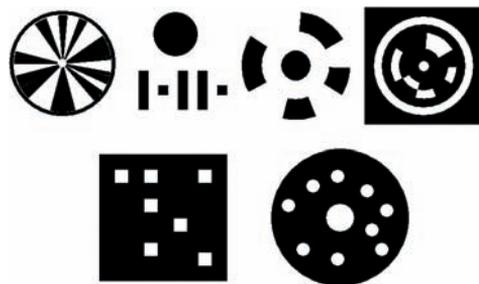


Abb. 4: Codierte Messmarken (aus LUHMANN 2003).

4500 × 3000 Bildelementen zur Verfügung und relative Objektgenauigkeiten über 1:100.000 sind erzielbar (LUHMANN & GODDING 2004, in diesem Heft).

3 Spezielle photogrammetrische 3D-Messsysteme für industrielle Anwendungen

Neben den im vorangegangenen Kapitel beschriebenen klassischen 3D-Messsystemen für den Nahbereich sind speziell für industrielle Anwendungen weitere Systemtypen entwickelt worden, die zwar ebenso auf dem photogrammetrischen Grundprinzip beruhen, jedoch durch zusätzliche Systemkomponenten oder Vorrichtungen erweitert wurden. Man kann hier zwischen mobilen und stationären Systemen unterscheiden, die also entweder zum Messobjekt gebracht werden können (mobil) oder bei denen das Messobjekt zum Messgerät gebracht wird (stationär).

3.1 Mobile Systeme (optisch/taktil)

Im industriellen Umfeld besteht häufig nicht die Möglichkeit, die relevanten Objektpunkte, also die, deren Koordinaten letztlich bestimmt werden sollen, künstlich zu signalisieren oder sie diskret im Bild zu erkennen. Messmarken sind oft auf Grund der Beschaffenheit der Objekt Oberfläche oder wegen des zusätzlichen Aufwands des Aufbringens und Entfernens nicht praktikabel. Andererseits sind Punkte häufig nicht diskret erkennbar, wenn sie sich zum Beispiel auf einer glatten Oberfläche befinden. Um solche Punkte dennoch messen zu können, sind photogrammetrische Messsysteme mit einem Hilfsmittel zur mechanischen Antastung ergänzt worden. Diese mechanische Antastung ist auf zwei unterschiedliche Arten realisiert worden, zum einen mit passiven Tastern, die mit Messmarken ausgestattet sind, zum anderen mit aktiven Tastern, die selbst den Bildsensor tragen.

Ende der achtziger Jahre wurden die ersten Systeme mit passiven Tastern vorgestellt. Sie arbeiten nach dem Prinzip, dass zwei oder mehr elektronische Kameras in

einer festen und bekannten Position zueinander aufgestellt sind. Hier sind Systeme mit variabel positionierbaren Kameras verfügbar (BROWN & DOLD 1995, PETERSEN 1992) oder mit fest zueinander positionierten Kameras, die sich in einem gemeinsamen Gehäuse befinden. Die Kameras erfassen einen gemeinsamen Bereich (Messvolumen), innerhalb dessen sich das Messobjekt befindet. Die relevanten Punkte am Objekt werden nun mit einem Taster angetastet und die Position der Messmarken auf dem Taster durch einen einfachen Vorwärtsschnitt bei bekannter äußerer Orientierung der Kameras bestimmt. Da die relative Position der Messmarken auf dem Taster zu der Tastspitze bekannt ist, kann direkt die Position der Tastspitze bestimmt werden. Diese Systeme werden auch als Online-Systeme bezeichnet, da sie ohne zeitliche Verzögerung die Koordinaten des angetasteten Punktes liefern. Allerdings wird jeweils nur ein Punkt zeitgleich bestimmt.

Ende der neunziger Jahre wurde eine weitere Variante der optisch/taktilen Antastung



Abb. 5: Messsystem mit aktivem Taster.

unter Verwendung eines aktiven Tasters vorgestellt (SINNREICH & BÖSEMANN 1999). Bei einem aktiven Taster ist die Kamera in den Taster integriert und fest mit der Tastspitze verbunden (Abb. 5). Die Kamera blickt auf ein bekanntes Punktfeld, ähnlich einem Passpunktfeld, und kann durch einfachen Rückwärtsschnitt ihre Position, bezogen auf das Punktfeld, bestimmen. Da die Position der Tastspitze relativ zum Projektionszentrum der Kamera durch Kalibrierung bekannt ist, kann ebenso die Position des Anstastpunktes, bezogen auf das Punktfeld, berechnet werden. Die Kamera ist dabei direkt mit dem Rechner verbunden, auf dem die Auswertung der Bildinformationen durchgeführt wird. Als Referenzpunktfeld dient eine stabile Platte oder Wand, auf der eine Anzahl von codierten und uncodierten Punkten angebracht ist, deren relative Lage zueinander bekannt ist.

3.2 Stationäre Systeme

Etwa gleichzeitig mit der Vorstellung der ersten mobilen Messsysteme wurden auch die ersten Ansätze zu stationären 3D-Messsystemen präsentiert. Es bestand der Wunsch, die Vorteile der photogrammetrischen 3D-Vermessung, nämlich berührungsloses und schnelles Messen, zur Qualitätskontrolle von Bauteilen zu nutzen. Das Grundprinzip dieser Systeme bestand in einer Messzelle, in der die Aufnahmesensoren (i. d. R. elektronische Kameras) und Beleuchtungseinrichtungen fest zueinander angeordnet waren. Zusätzlich konnten die Systeme um Positioniervorrichtungen für die Messobjekte wie Drehtisch o. ä. ergänzt werden. Die Anwendung erstreckte sich entweder auf die Messung einer Vielzahl unterschiedlicher Objekte in einem System oder auf nur eine eng eingegrenzte Messaufgabe.

Ein Beispiel für ein System zur Vermessung unterschiedlichster Bauteile ist das Anfang der neunziger Jahre entwickelte Programmierbare Optische Messmittel (POM) (LOSER & LUHMANN 1992). Hierbei handelte es sich um eine Einrichtung, mit der unterschiedlichste Bauteile wie Armaturentafel, Windschutzscheibe oder Innenverkleidun-

gen mit jeweils unterschiedlichen Messprogrammen, aber gleichem Hardwareaufbau gemessen werden konnten. Zur Bildaufnahme diente eine Réseau-Scanning Kamera (RIECHMANN 1990), die durch einen beweglichen Sensor, der innerhalb der Bildebene verschoben werden konnte, eine sehr hohe relative Auflösung erzielen konnte. Unterschiedliche, rechnergesteuerte Beleuchtungskomponenten wie Laserlinien, Weißlicht etc. ermöglichten die für die automatische Bildauswertung notwendige spezielle Beleuchtung des Objekts. Die enorme Komplexität des Ansatzes und die Leistungsgrenzen der zur Verfügung stehenden Hardware führten dazu, dass das Projekt zum damaligen Zeitpunkt nicht zur Serienreife gelangte.

Zur gleichen Zeit wurde ein ähnliches System vorgestellt, das jedoch nur auf eine einzige Messaufgabe, nämlich die Vermessung von Rohren (KFZ-Bremsleitungen, Hydraulikleitungen, Abgasanlagen), ausgelegt war (BÖSEMANN 1996). Das System besteht aus einem Rahmen, der 16 CCD-Kameras trägt, die das Messvolumen von 1200 mm × 2500 mm × 600 mm erfassen. Eine Durchlichtbeleuchtung ermöglicht die Darstellung der zu vermessenden Rohrleitung im Bild als dunkles Polygon vor hellem Hintergrund. Eine solche Abbildung vereinfacht die automatische Erkennung des Rohres im Bild und ermöglicht die Auswertung ohne Interaktion des Benutzers. Ein solches System findet sich heute an vielen Orten in der Fertigung von Rohrleitungen und ist so weit in den Fertigungsprozess integriert, dass direkt Korrekturdaten an die Fertigungsautomaten gesandt werden können, wenn die Messwerte nicht den Sollwerten der Konstruktion entsprechen.

Dieses zweite Beispiel steht stellvertretend für eine Vielzahl von Systemen, die heute, nach photogrammetrischen Prinzipien arbeitend, für einfache 3D-Prüfaufgaben eingesetzt werden. Häufig stammen diese Systeme von Herstellern oder Entwicklergruppen, die in der photogrammetrischen Fachwelt kaum bekannt sind, aber ähnliches Fachwissen aufgebaut haben und anwen-

4 Ausblick

Der Nahbereichsphotogrammetrie stehen heute handelsübliche Hardwarekomponenten wie Rechner und Kameras zur Verfügung, die den Anforderungen der Anwender gerecht werden und einen wirtschaftlich gewinnbringenden Einsatz der Systeme ermöglichen. Die am Markt verfügbaren photogrammetrischen 3D-Messsysteme sind technisch ausgereift, es müssen jedoch bereits jetzt die Grundlagen für die Systeme der nächsten und übernächsten Generation geschaffen werden. Hierbei ist zum einen der Wunsch der Anwender nach weiter automatisierter Bilderkennung ohne jegliche Signalisierung oder sonstige Objektpräparation zu erfüllen. Ein weiterer Wunsch besteht darin, die Systeme so in einen automatisierten Fertigungsprozess zu integrieren, dass sie sich selbständig an die jeweiligen Umgebungsbedingungen anpassen, ohne dass das Expertenwissen eines Bedieners gefordert ist. Letztlich muss die Ergebnisdarstellung weiter optimiert werden, so dass der Anwender die Daten in kürzester Zeit analysieren kann, damit so schnell wie möglich die daraus folgenden Entscheidungen getroffen werden können.

5 Literatur

- BÖSEMANN, W., 1996: The optical tube measurement system OLM – photogrammetric methods used for industrial automation and process control. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. **31**, B5: 55–58.
- BROWN, J. & DOLD, J., 1995: V-STARS – A system for digital industrial photogrammetry. – In: GRÜN/KAHMEN (ed.): Optical 3-D Measurement Techniques III. – pp. 12–21, Wichmann Verlag, Heidelberg.
- FRASER, C. & BROWN, D.C., 1986: Industrial photogrammetry – new developments and recent applications. – The Photogrammetric Record **12** (68): 197–217.
- KINZEL, R. & POMASKA, G., 1988: Erste Anwendererfahrungen mit dem System Rolleimetric MR2. – Der Vermessungsingenieur, **1988** (39): 21–24.
- LOSER, R. & LUHMANN, T., 1992: The programmable optical 3-D measuring system POM – applications and performance. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. **29**, B5: 533–540.
- LUHMANN, T., 1986: Ein Verfahren zur rotationsinvarianten Punktbestimmung. – Bildmessung und Luftbildwesen, **1986** (4): 147–154.
- LUHMANN, T., 2003: Nahbereichsphotogrammetrie. – 2. Aufl., 586 S., Wichmann Verlag, Heidelberg.
- LUHMANN, T. & GODDING, R., 2004: Messgenauigkeit und Kameramodellierung – Kernfragen der Industriephotogrammetrie. – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation, **2004** (1).
- PETTERSEN, H., 1992: Metrology Norway System – an on-line industrial photogrammetry system. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. **29**, B5: 43–49.
- RIECHMANN, W., 1990: The reseau-scanning camera – conception and first measurement results. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. **28**/5,2: 1117–1125.
- SCHNEIDER, C.-T., 1991: Mehrbildzuordnung. – In: Dimension 1991 – Optische Formerfassung. – DGZfP, Vol. **27**: 61–67, Berlin.
- SINNREICH, K. & BÖSEMANN, W., 1999: Der mobile 3D-Messtaster von AICON – ein neues System für die digitale Industrie-Photogrammetrie. – Publikationen der DGPF, Band **7**: 175–181, Berlin.
- WESTER-EBBINGHAUS, W., 1989: Das Réseau im photogrammetrischen Bildraum. – Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung, **1989** (3): 3–10.
- ZINNDORF, ST., 2004: Photogrammetrische Low-Cost-Systeme. – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation, **2004** (1).

Anschrift des Autors:

Dr.-Ing. CARL-THOMAS SCHNEIDER
AICON 3D Systems GmbH
Biberweg 30 C
D-38114 Braunschweig
Tel.: +49-531-58 000 58
Fax: +49-531-58 000 60
e-mail: ct.schneider@aicon.de

Manuskript eingereicht: September 2003
Angenommen: Oktober 2003

Industrieanwendungen der Nahbereichsphotogrammetrie

WERNER BÖSEMANN, Braunschweig & VOLKER UFFENKAMP, Leonberg

Keywords: close-range photogrammetry, industrial applications, off-line system, on-line system

Zusammenfassung: Die Industriephotogrammetrie beschäftigt sich mit der Vermessung dreidimensionaler Objekte in der industriellen Fertigung und in der Qualitätssicherung. Dabei werden entweder die Bauvorrichtungen und Fertigungswerkzeuge oder das zu fertigende Objekt erfasst. Die Industriephotogrammetrie knüpft hinsichtlich der erreichbaren Genauigkeit und der Objektdimensionen an die Theodolit-gestützte Ingenieurgeodäsie an. Photogrammetrische Verfahren im industriellen Umfeld bewähren sich besonders dort, wo instabile Aufnahmeorte eingenommen werden können oder müssen, das Objekt nicht mobil ist, die verfügbare Zeit zur Objekterfassung stark beschränkt ist oder eine große Anzahl von Messpunkten simultan erfasst werden soll. Der Beitrag beschreibt beispielhaft sieben Industrieanwendungen, die den erfolgreichen Einsatz photogrammetrischer Offline- und Online-Systeme dokumentieren.

Summary: *Industrial close-range photogrammetry applications.* Industrial photogrammetry deals with the metrology of three-dimensional objects in industrial manufacturing and quality assurance. Either the jigs and tools or the object itself will be inspected. With regard to available accuracy and object dimensions industrial photogrammetry links to theodolite-based systems. Photogrammetric methods in industrial environment prove their worth especially where unstable recording stations can or must be taken, if the object is not mobile, when the available time to record the object is very limited or a large number of object targets have to be measured simultaneously. This paper outlines seven industrial applications which demonstrate the successful use of photogrammetric off-line and on-line systems.

1 Grundlagen

Will man den heutigen Erfolg photogrammetrischer Industrieanwendungen unter besonderer Würdigung der Arbeiten von WILFRIED WESTER-EBBINGHAUS darlegen, muss man nahezu 30 Jahre zurückgehen und sich vergegenwärtigen, dass zu dieser Zeit die nicht-topographische Photogrammetrie im Wesentlichen zur Bestandsaufnahme von Kulturdenkmälern mittels analoger Stereobilder betrieben wurde. Zum Einsatz kamen konventionelle Mittelformat-Messkameras wie die Wild P31/P32 und Zeiss Oberkochen TMK/SMK. WESTER-EBBINGHAUS widmete seine Arbeiten von Beginn an praxisorientierten Verfahren unter Einbeziehung der aufkommenden Datenverarbeitungstechni-

ken. Seine konsequent vorangetriebenen Entwicklungen und erfolgreich in die Praxis umgesetzten Aufnahmesysteme und Auswertverfahren haben entscheidend zur Ausweitung der Photogrammetrie im industriellen Umfeld geführt. Insbesondere sind hier folgende Meilensteine zu nennen:

- Die Ausrüstung von Amateurkameras mit Réseaplatten erlaubt die Verwendung von Rollfilm anstelle von Glasplatten und ermöglicht den Einsatz von Wechselobjektiven, Fokussierbarkeit, Sucherbetrachtung und einen automatisierten Aufnahmeprozess durch Fernauslösung und motorisierten Filmtransport (WESTER-EBBINGHAUS 1981).

- Die neu gewonnene Flexibilität der Aufnahmesysteme verlangt eine systematische Analyse der Möglichkeiten zur Kamera-Kalibrierung. Je nach Verfügbarkeit von Informationen im Objektraum werden bestimmte Aufnahmeanordnungen zur Kalibrierung vorgeschlagen (WESTER-EBBINGHAUS 1986).
- Die Erweiterung der Bündelausgleichung um zusätzliche Beobachtungen, welche die geometrischen Beziehungen zwischen Objektpunkten, Aufnahmeestandpunkten oder Aufnahmerichtungen beschreiben, erlaubt die simultane Kalibrierung aller kamera- und objektseitigen Parameter (WESTER-EBBINGHAUS 1985).
- Der Forderung der Industrie nach Systemen mit hohem Automatisierungsgrad kann durch Einsatz opto-elektronischer Flächensensoren entsprochen werden (WESTER-EBBINGHAUS 1984). Gemeinsam mit der Firma Rollei entwickelt WESTER-EBBINGHAUS den Réseauscanner RS1 sowie die Large Format Camera (LFC), um den hohen Forderungen in der industriellen Fertigung nach Messsystemen mit relativen Genauigkeiten von besser als 10^{-5} nachzukommen (DOLD & RIECHMANN 1989).

Damit waren die wesentlichen Grundlagen geschaffen. Die nachfolgenden Jahre waren der Entwicklung von Systemen mit digitaler Aufnahmetechnik gewidmet sowie der kontinuierlichen Einführung der Nahbereichs-photogrammetrie in die Industrie. Dabei wird die klassische Koordinatenmesstechnik nicht immer vollständig ersetzt. In der Regel ergänzen die photogrammetrischen Systeme Koordinatenmessgeräte oder andere portable Koordinatenmesstechnik wie Lasertracker oder Gelenkarme. Seit 1990, parallel zur Entwicklung hochauflösender CCD-Kameratechnologie sowie leistungsfähiger, aber erschwinglicher Rechnerplattformen, hat sich die digitale Industriephotogrammetrie vom Status einer Nischentechnologie zu einem bewährten Verfahren entwickelt, das erfolgreich an vielen Stellen in der industriellen Messtechnik Anwendung findet. Inzwischen werden digitale Off-

line- und Online-Systeme als ausgereifte Produkte durch einige spezialisierte Firmen wie z. B. die Firma AICON 3D Systems GmbH aus Braunschweig, an deren Gründung auch WILFRIED WESTER-EBBINGHAUS beteiligt war, breit am Markt angeboten.

2 Anwendungen

Das Hauptaugenmerk der kontinuierlichen Systementwicklung lag stets auf der Automatisierung der Verfahren und der Vereinfachung der Arbeitsabläufe bei der photogrammetrischen Vermessung. Es sollte möglich sein, umfangreiche Auswertungen ohne besondere photogrammetrische Vorkenntnisse durchzuführen. Die folgenden Beispiele sollen einen Überblick über das breite Spektrum der Anwendungen geben. Dabei wird versucht, solche Anwendungen auszuwählen, bei denen die charakteristischen Vorteile photogrammetrischer Industrie-messtechnik wie Mobilität, Flexibilität und Automation besonders deutlich werden. Auf die Angabe von Genauigkeiten wird bewusst verzichtet. In jedem einzelnen Beispiel wurden das eingesetzte System und der Messaufwand vor Ort an die Genauigkeitsanforderungen der Anwender angepasst.

2.1 3D-Vermessung von Solar-Panels bei Eurocopter Deutschland

Bei der Eurocopter Deutschland GmbH werden in der Komponentenerprobung, als Teil eines umfangreichen Testprogramms, Belastungsversuche mit Solar-Panels durchgeführt (SCHREDL & WENG 2003). Bei der Erprobung von Solar-Panels werden sowohl Parameter für die Steifheit als auch die Ebenheit durch Messungen im belasteten und unbelasteten Zustand bestimmt. Zu diesem Zweck wurden bisher die Objekte zu einem Koordinatenmessgerät transportiert. Dort mussten dann sowohl der Versuch als auch die dreidimensionale Vermessung durchgeführt werden. Die Größe der zu messenden Objekte (z. B. ca. $2\text{ m} \times 2,5\text{ m}$ oder $4\text{ m} \times 2,3\text{ m}$) und der für den jeweiligen Transport bzw. Versuchsaufbau erforderli-

che Aufwand ließ den Wunsch nach einem mobilen Messsystem aufkommen.

Seit einiger Zeit wird für diese Aufgabe das 3D-Industriemesssystem AICON DPA-Pro, ein photogrammetrisches Offline-System (SCHNEIDER 1996), eingesetzt. Mit diesem mobilen Messsystem können jetzt alle Messungen am jeweiligen Ort des Versuchsaufbaus durchgeführt und ausgewertet werden.

Zur Bestimmung der Steifheit wird das Panel auf den Boden gelegt und an vier Ecken gelagert. Anschließend wird die erforderliche Anzahl von retroreflektierenden Messmarken aufgebracht. Es folgt eine Vermessung im belastungsfreien Zustand. Mit einer hochauflösenden Digitalkamera werden die Messbilder aus freier Hand in nur wenigen Minuten aufgenommen. Der kameraseitig installierte Ringblitz gewährleistet die gleichmäßige Ausleuchtung der retroreflektierenden Messmarken. Anschließend wird das Zentrum des Panels mit einem Gewicht von ca. 5 kg belastet und eine erneute Vermessung durchgeführt, um die Deformationen, die in einer Größenordnung von 10–20 mm liegen, zu erfassen. Die Bildmessung und die Berechnung der 3D-Koordinaten erfolgt automatisch. Interaktionen zur Steuerung der photogrammetrischen Auswertung sind seitens des Anwenders nicht erforderlich. Anschließend werden die Deformationsvektoren zwischen den Belastungszuständen berechnet. Die Ergebnisse werden zur Gegenüberstellung in ein einheitliches Koordinatensystem transformiert

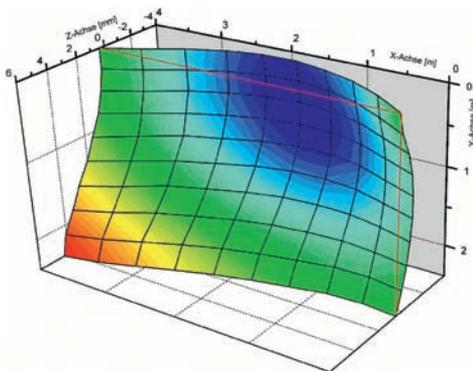


Abb. 1: Ergebnis der Verformungsmessung.



Abb. 2: Ebenheitsmessung am Solar-Panel.

und die geforderten Messprotokolle erstellt. Eine grafische Ergebnisdarstellung ermöglicht die einfache Beurteilung der Versuchsergebnisse (Abb. 1).

In einem weiteren Versuch wird die Ebenheit des Panels gemessen. Hierzu wird es an den zwei Eckpunkten der längeren Seite aufgehängt. Diese Lagerung kommt dem Zustand des Panels in der Schwerelosigkeit am nächsten. Nach einer Einschwingphase kann mit der Aufnahme der Messbilder begonnen werden. Durch einfache Hilfsmittel, wie z. B. eine Bockleiter, lassen sich schnell geeignete Aufnahmeorte einnehmen (Abb. 2).

2.2 Verformungsmessungen in einer Klimakammer

Bei der Entwicklung neuer Fahrzeuge in der Automobilbranche gehören Klimaversuche regelmäßig zum Testprogramm, um alternative Werkstoffe hinsichtlich ihrer Verwendung



Abb. 3: Tür in der Klimakammer.

barkeit in der Serienfertigung beurteilen zu können. Das Testobjekt, z. B. eine Tür oder eine Fahrzeugverkleidung, wird wechselnden klimatischen Bedingungen ausgesetzt (Abb. 3), um sein Verhalten unter Stress zu beobachten. Die klimatischen Bedingungen werden hierfür in einer Klimakammer künstlich erzeugt.

Wesentliche Erkenntnisgrundlage bei der Auswertung von Klimaversuchen ist die Verformung der Testobjekte in Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen. Hierzu ist eine vollständige 3D-Vermessung der Testobjekte erforderlich. Das einzusetzende Messsystem muss folgende Rahmenbedingungen erfüllen:

- Das Messverfahren muss berührungslos sein, damit das Testobjekt nicht durch die Messung selbst verändert wird.
- Die Messung muss innerhalb der Klimakammer durchgeführt werden, also muss das Messsystem auch unter extremen klimatischen Bedingungen einsetzbar sein.
- Die Objekterfassung darf nur wenig Zeit in Anspruch nehmen, da unterstellt wird, dass sich das Objekt für den Zeitraum der Messung nicht verändert.
- Die Auswertung der Messung soll weitestgehend automatisiert erfolgen, damit die Ergebnisse vieler Belastungszustände mit möglichst wenig Aufwand erzeugt werden können.
- Die Präsentation der Ergebnisse muss grafisch illustriert werden und sich in das entsprechende Untersuchungsergebnis einbinden lassen.



Abb. 4: Bildaufnahme bei 180°C.

Für die Vermessung von Verformungen bei Klimaversuchen ist ein photogrammetrisches Offline-System das ideale Werkzeug, da es alle genannten Forderungen erfüllt. Das Testobjekt wird mit einer hochauflösenden digitalen Messkamera nach einer hierfür optimierten Aufnahmeanordnung erfasst. Die Kamera ist auch unter extremen klimatischen Bedingungen in einer Klimakammer einsetzbar (Abb. 4) und kann im Bedarfsfall mit einem speziellen Schutzgehäuse verwendet werden. Die Erfassungszeit des Objektes ist sehr kurz, so dass die erforderliche Anzahl von Messepochen ohne Probleme durchgeführt werden kann.

2.3 Nichtlineare Berechnung von Stahlflanschverbindungen mit gemessenen Imperfektionen

Die Beanspruchung von Tragwerken und Tragwerksteilen wird meist an idealisierten Modellen ermittelt. In der Realität weisen Tragwerke hingegen häufig Imperfektionen auf. Derartige Imperfektionen können ge-



Abb. 5: Aufbau einer Windkraftanlage.

benenfalls erhebliche Auswirkungen auf die Beanspruchung und damit auf die Tragfähigkeit besitzen. Eine größere Windkraftanlage in Mecklenburg-Vorpommern (Abb. 5) wurde im Bauzustand untersucht (BUCHER & EBERT 2000).

Für die Untersuchung wurden sieben bereits einbetonierte Ringflanschhälften mit Hilfe eines mobilen Offline-Systems vermessen. Zur Durchführung der Vermessung wurden die Flanschflächen vorab punktweise mit unterschiedlichen Konfigurationen markiert (Abb. 6).

Mit einer Digitalkamera wurde das zu vermessende Objekt zunächst aus unterschiedlichen Richtungen aufgenommen und alle relevanten Objektbereiche erfasst. Anschließend wurden die digitalen Messbilder im Auswerterechner verarbeitet und die 3D-Koordinaten der Geometriepunkte berechnet. Die diskreten Messwerte wurden in der Auswertung zu Darstellungszwecken auf die gesamte Flanschgeometrie interpoliert. Die Abweichungen von der mittleren Flanschenebene betragen bis zu 3 mm.

Mit den photogrammetrisch gemessenen Imperfektionen wurden Messwerte gewonnen, die einer Finite-Elemente-Modellierung unterworfen wurden. Hiermit ließen sich Schraubenkräfte unter Berücksichtigung der gemessenen Imperfektionen berechnen und den Resultaten einer Berechnung mit perfekter Flanschgeometrie gegenüberstellen. Die Berechnungsergebnisse lassen erkennen, dass die Berücksichtigung realistischer Imperfektionen der Geometrie von Flanschverbindungen zu einer Erhö-



Abb. 6: Signalisierte Stahlflanschverbindung.

hung der Kräfteschwankungen und damit zu einer merklich geringeren rechnerischen Lebensdauer führen kann.

2.4 3D-Vermessung zur Herstellung von Fenstern für Luxusyachten

Die Herstellung von Fenstern für Luxusyachten stellt an die Fertigung höchste Ansprüche, da die Glasscheiben um mehrere Achsen mit wechselnden Radien gebogen sind. Zur Vermessung der Form und der Abmessungen von Fensterrahmen und Relingen hat sich das mobile 3D-Industriemesssystem DPA-Pro bewährt (Abb. 7). Die früher verwendeten Messmethoden (Holzschablonen, Theodolitmesssystem) erwiesen sich für diesen Bereich als zu aufwendig und nicht in jedem Fall geeignet.

Zu vermessende Punkte werden am Objekt signalisiert, digital fotografiert und nach kurzer Auswertung stehen ihre 3D-Koordinaten zur Verfügung (Abb. 8). Durch die Verwendung von speziellen Adaptern lassen sich selbst schwierig zugängliche Punkte vermessen und die Arbeitszeit an Bord noch weiter reduzieren.



Abb. 7: Vermessung einer Reling.



Abb. 8: Ergebnis der Auswertung.

Mit diesem Verfahren können nicht nur die Fenster von Yacht-Neubauten vermessen werden, sondern auch Reparaturvermessungen durchgeführt werden. Hierbei ist die Mobilität des Systems von großem Vorteil. Die Vermessung und der Austausch von defekten Scheiben erfolgt nicht auf einer Werft, sondern kann weltweit in jedem Hafen, wo sich die Yacht gerade befindet, durchgeführt werden. Die Bewegungen, die das Schiff auf dem Wasser vollführt, haben auf diese Art der Vermessung keinen Einfluss.

2.5 Mobiles 3D-Messverfahren für den Busbau

Der Busbau ist geprägt von einer hohen Variantenvielfalt, häufigen Sonderwünschen der Kunden und einer sehr geringen Fertigungsautomatisierung. Eine automatisierte Prüfung der Einzelteile und Gesamtfahrzeuge im Rahmen der Qualitätssicherung ist auch wegen der Abmaße – bei Längen bis 15 m – schwierig (Abb. 9). Nur wenige Bauteile werden auf stationären Koordinatenmessgeräten geprüft. Häufig werden für qualitative Prüfungen in der Fertigungslinie Messbänder und Schablonen verwendet.

Bei der NEOMAN Bus GmbH in Salzgitter wird jetzt das 3D-Messsystem ProCam (Abb. 10; BÖSEMANN & SCHNEIDER 2001) der Fa. AICON eingesetzt. Das mobile Online-System wurde bisher vorwiegend im Pkw-Bereich verwendet und nun in einem EU-Projekt für die Omnibusfertigung optimiert. Gemeinsam mit dem Institut für Werkzeug-



Abb. 9: Busfertigung.

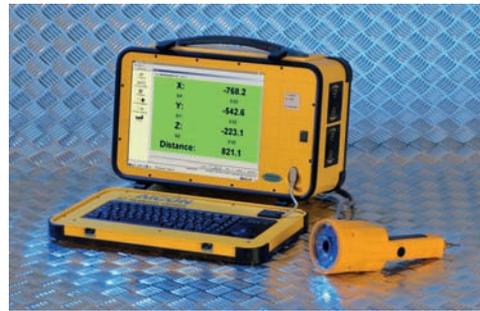


Abb. 10: ProCam Messsystem.

maschinen und Fertigungstechnik der TU Braunschweig wurde das Projekt „Imbus“ (Inspection and Monitoring of Bus Manufacturing; HESSELBACH & OETZMANN 2000) durchgeführt, in dem diese Messtechnik an die besonderen Gegebenheiten der Busfertigung adaptiert wurde. Neben rein technischen Fragen war die Einbettung der neuen Technologie in die betrieblichen Abläufe ein bedeutender Aspekt.

Das System besteht aus einem Messtaster, mehreren tragbaren Referenzpanelen mit codierten Marken sowie einem Rechner für die Steuerung und Auswertung. Zum Zeitpunkt der Messung blickt die Kamera auf das zuvor eingemessene Referenzpunktfeld mit bekannten Koordinaten. Die mechanisch mit der Kamera verbundene Tastspitze berührt den gewünschten Objektpunkt (Abb. 11). Wird die Messung ausgelöst, nimmt die Kamera den in der jeweiligen Lage sichtbaren Teil des Referenzpunktfeldes auf.

Mittels räumlichem Rückwärtsschnitt werden die 3D-Koordinaten der Kamera zum Zeitpunkt der Messung bestimmt, mit denen dann ebenfalls der Ort der Tastspitze berechnet werden kann. Es sind alle Punkte messbar, von denen aus die Kamera einen Teil des Referenzfeldes einsehen kann. Durch Verlängerung der Tastspitze ist der Arbeitsbereich so erweiterbar, dass auch verdeckte Punkte am Objekt angetastet und gemessen werden können. Das Design des Tasters ist sehr robust, was die Einsatzmöglichkeiten in der Fertigungslinie verbessert. Ein entscheidender Vorteil für den Anwender gegenüber Prüfungen mit Schablone



Abb. 11: Mobiler Messtaster.

oder Messband ist die direkte Abspeicherung und Auswertbarkeit von Messwerten aus der Produktionslinie.

Die Messdaten und Auswertungen werden über eine Intranet-Seite bereitgestellt, so dass die aktuellen Qualitätsinformationen ständig verfügbar sind. Mitarbeiter aus dem Qualitätsbereich, aber auch aus Konstruktion, Planung oder Fertigung bekommen damit die Möglichkeit, sich mit sehr wenig Aufwand über die aktuelle Fertigungsqualität zu informieren.

2.6 3D-Vermessung von Crashfahrzeugen

Beim Kauf eines Neufahrzeugs ist das Sicherheitspaket, das der Hersteller dem Käufer bietet, ein Entscheidungsfaktor von zunehmender Bedeutung. Deshalb haben sich in Europa Automobilverbände, einige europäische Regierungen und weitere Verbraucherorganisationen zum EURO NCAP (EURO New Car Assessment Programme)



Abb. 12: Frontalcrash.

zusammengeschlossen. Sie setzen einheitliche Verfahren für die Durchführung von Crashtests durch und liefern jetzt normierte und detaillierte Informationen über die Qualität des Insassenschutzes.

Wesentliche Erkenntnisgrundlage bei der Auswertung von Crashversuchen ist die crashbedingte geometrische Veränderung des Versuchsfahrzeuges. Eine genaue 3D-Vermessung vor und nach dem Crash liefert die für die Beurteilung erforderlichen Messwerte, mit denen dann Aussagen gemacht werden können, wie das Verletzungsrisiko der Insassen minimiert werden kann. Entsprechend hoch sind die Anforderungen an das Messsystem.

Um eine geometrische 3D-Vermessung möglichst schnell und wirtschaftlich durchführen zu können, müssen folgende Anforderungen von dem Messsystem erfüllt werden:

- Ausreichende Messgenauigkeit
- Minimale Rüstzeiten
- Schneller Messdurchlauf und kurze Messzeiten für ca. 80 Punkte am und im Fahrzeug
- Geringe Anschaffungs- und Unterhaltungskosten

Der Vergleich verschiedener Messsysteme bei einem großen Automobilhersteller hat gezeigt, dass das ProCam System die hohen Anforderungen an einen modernen Messplatz erfüllt (Abb. 13). Nach der erstmaligen



Abb. 13: ProCam Messzelle.

Installation benötigt es für die Einzelmessungen keine Rüstzeiten. Alle erforderlichen Messpunkte, die z.T. unterhalb oder im Inneren des Fahrzeuges liegen, lassen sich in einem Durchgang ohne Unterbrechung direkt messen. Die geforderten Messgenauigkeiten werden problemlos erreicht – und das bei einer großen Zeitersparnis gegenüber den bisherigen Messverfahren.

2.7 On-line Positionierung von Dummies im Crashversuch

Bei einem Crashversuch kommt es darauf an, dass der Dummy in seiner Lage und Sitzposition so im Fahrzeug positioniert ist, wie es die jeweiligen nationalen Vorschriften, auf deren Grundlage der Versuch durchgeführt wird, erfordern. Mit einem photogrammetrischen Online-System steht eine optische 3D-Positioniermöglichkeit zur Verfügung, die eine online Ausrichtung von Dummies im Fahrzeugkoordinatensystem ermöglicht (Abb. 14). Das Messsystem für die Dummypositionierung erfüllt folgende Anforderungen:

- Positionierung im Fahrzeugkoordinatensystem,
- Dokumentation des Ergebnisses in einem benutzerdefinierten Protokoll,
- Möglichkeit zur Erfassung von Zusatzmaßen,



Abb. 14: Online Dummypositionierung.

- Datenbank für alle Informationen über die immer wiederkehrenden Versuchsbedingungen (Fahrzeugtyp, Dummy, nationale Vorschriften, Sitzstellung) und
- einfache Handhabung für eine zügige Positionierung.

Für die Ausrichtung des Dummies sind im Wesentlichen drei Arbeitsschritte erforderlich:

Schritt 1: Vorbereitung

Zur Vorbereitung der Dummypositionierung werden auf der jeweiligen Fahrzeugseite Bezugspunkte signalisiert, deren Koordinaten im Fahrzeugkoordinatensystem vorliegen. Nach Aufstellen und Inbetriebnahme des Online-Systems wird kontinuierlich eine Transformation ins Fahrzeugkoordinatensystem über die Hilfspunkte durchgeführt. Hierdurch werden Bewegungen des Fahrzeugs, wie sie z. B. durch das Hineinsetzen des Dummies entstehen können, laufend kompensiert.

Schritt 2: Dummypositionierung

Die aktuelle Position des Dummys wird über Messpunkte, die auf dem Dummy angebracht sind, erfasst und mit der Solllage verglichen. Mit Hilfe eines Softwaremoduls wird nach Auswahl der Versuchsanordnung aus der Datenbank der aktuelle Sitz des Dummys laufend in einer Koordinatentabelle oder als Grafik angezeigt.

Schritt 3: Zusatzmessungen, Protokoll

Mit einem Messtaster können noch Zusatzkoordinaten bzw. -strecken gemessen werden. Abschließend wird ein Messprotokoll erstellt.

3 Zusammenfassung und Ausblick

WESTER-EBBINGHAUS hat mit seinen grundlegenden Entwicklungen wesentliche Voraussetzungen für die moderne Industriephotogrammetrie geschaffen; deren vielfältige Umsetzung in Systeme und Anwendungen zu erleben und mitzugestalten war ihm leider nicht mehr vergönnt. Heute stehen digitale Offline- und Online-Systeme mit hochauflösenden Sensoren, ausgereifter Bildverarbeitung und robusten Auswertalgorithmen hoher Automation sowie umfangreiche Möglichkeiten zur Datennachbearbeitung zur Verfügung. Eine hohe Anzahl unterschiedlichster Anwendungen in der Luft- und Raumfahrttechnik, dem Automobil-, Schiff- und Waggonbau, dem Tunnel- und Anlagenbau, der Crashvermessung und Robotersteuerung – um nur einige Bereiche zu nennen – dokumentieren die große Flexibilität und das Leistungsvermögen der Industriephotogrammetrie. Da ein vollständiger Überblick über die Vielzahl der Anwendungen hier nicht gegeben werden kann, sei ergänzend auf ein Buch mit über 70 Anwendungen, zum großen Teil aus der industriellen Messtechnik, hingewiesen (LUHMANN 2002).

Bei aller Zufriedenheit über die erfolgreichen Anwendungen soll nicht verschwiegen werden, dass die Industriephotogrammetrie gegenüber der konventionellen 3D-Koordinatenmesstechnik immer noch sehr geringe

Marktanteile aufweist. Hohe Genauigkeiten sind nach wie vor nur mit Marken und Adaptoren zu erreichen. Berührungslose 3D-Bildmesstechnik ruft auch nach mehr als 10 Jahren Einsatz noch häufig Berührungsängste in der Welt des Maschinenbaus hervor. Die neue VDI/VDE Richtlinie 2634 (VDI/VDE 2002) zur Abnahme und Überprüfung von optischen 3D-Messsystemen lässt jedoch hier auf Änderung hoffen.

Literatur

- BÖSEMANN, W. & SCHNEIDER, C.-T., 2001: Online 3D measurement using inverse photogrammetry. – In: Videometrics and Optical Methods for 3D Shape Measurement, Proc. SPIE, **4309**: 288–293.
- BUCHER, C. & EBERT, M., 2000: Nichtlineare Berechnung von Stahlflanschverbindungen mit gemessenen Imperfektionen. – Stahlbau, 71. Jg., H. 7: 516–522.
- DOLD, J. & RIECHMANN, W., 1989: LFC und RS1; ein hochgenaues Industriemesssystem. – In: KAHMEN, H. & GRÜN, A. (Hrsg.): Optical 3-D Measurement Techniques. – pp. 229–240, Wichmann Verlag, Karlsruhe.
- HESSELBACH, J. & OETZMANN, A., 2000: Moderne 3D-Messverfahren für den Busbau. – VDI Z., Mitgliederausgabe der VDI-Gesellschaft Produktionstechnik, Heft 9/10, 2002, Springer VDI Verlag.
- LUHMANN, T. (Hrsg.), 2002: Nahbereichsphotogrammetrie in der Praxis. – 318 S., Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg.
- SCHNEIDER, C.-T., 1996: DPA-WIN – A PC based digital photogrammetric station for fast and flexible on-site measurement. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, **31/B5**: 530–533.
- SCHREDL, J. & WENG, T., 2003: Photogrammetrie als Messmittel bei Eurocopter. – GESA Symposium 2003, VDI-Berichte **1757**: 205–211, Düsseldorf.
- VDI/VDE, 2002: Optische 3-D Messsysteme. – VDI/VDE Richtlinie 2634, Beuth Verlag, Berlin.
- WESTER-EBBINGHAUS, W., 1981: Zur Verfahrensentwicklung in der Nahbereichsphotogrammetrie. – Dissertation, Universität Bonn.
- WESTER-EBBINGHAUS, W., 1984: Optoelektrische Festkörper-Flächensensoren im photogrammetrischen Abbildungssystem. – Bildmessung und Luftbildwesen, **1984** (6): 297–301.

WESTER-EBBINGHAUS, W., 1985: Bündeltriangulation mit gemeinsamer Ausgleichung photogrammetrischer und geodätischer Beobachtungen. – Zeitschrift für Vermessungswesen, Heft 3: 101–111.

WESTER-EBBINGHAUS, W., 1986: Analytische Kamerakalibrierung. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, **26** (5): 77–84.

Anschriften der Autoren:

Dr.-Ing. WERNER BÖSEMANN
AICON 3D Systems GmbH
D-38114 Braunschweig
e-mail: werner.boesemann@aicon.de

Dr.-Ing. VOLKER UFFENKAMP
Robert Bosch GmbH
Fahrerassistenz-Systeme
Videosensorik
D-71229 Leonberg
e-mail: volker.uffenkamp@de.bosch.com

Manuskript eingereicht: September 2003

Angenommen: Oktober 2003

Neue Laser-Technologien für die Industrievermessung

JÜRGEN DOLD, Unterentfelden

Keywords: 3-D metrology, Laser Tracker, Laser Radar, automation, non-contact measurement

Zusammenfassung: Verfahren und Prozesse der industriellen Fertigung von Produkten sind in ständigem Umbruch. Neue Werkzeuge tragen zur Genauigkeitssteigerung und erhöhten Automation von Produktionsabläufen bei. Optische Messtechnik verbindet dabei das Design mit der Realität. Entweder wird mittels Messtechnik geprüft, ob ein Objekt dem ursprünglichen Design entspricht, oder die Messtechnik unterstützt die präzise Montage von Bauteilen. Zwei neue Laserbasierte Industriemesssysteme werden vorgestellt. Es handelt sich um das berührungslos messende Laser Radar und den mit einer Kamera kombinierten Laser Tracker für Handtaster und Handscanner.

Summary: *Novel Laser Technologies for Industrial Metrology.* Industrial manufacturing processes are continuously improving. New tools increase the manufacturing accuracy and the automation of processes. Optical measurement techniques play a key role to link the design with the reality. Either the measurement technique is used to inspect whether parts are built as designed or the measurement technique helps during the manufacturing process to build according to the design. Two new Laser-based industrial measurement systems will be described. One system is the non-contact Laser Radar and the other system combines camera and Laser Tracker technology for the use of hand held probes and scanners.

1 Einleitung

Die Laser Tracker Technologie wurde vor mehr als zehn Jahren in den verschiedensten Industriezweigen erfolgreich eingeführt. Viele Produktionsbereiche nutzen sie im Rahmen der Montage und Prüfung von Bauteilen und Werkzeugen. Die Firma Leica Geosystems stellt jetzt neue Laser-Technologien vor, die den Anwendungsbereich der Laser-Systeme signifikant erweitern. Zum einen wurde kürzlich das Laser Radar LR200 eingeführt, ein System, das in einem großen Messvolumen berührungslos Präzisionsmessungen durchführen kann. Zum anderen wurde eine funktionale Erweiterung der Laser Tracker Technologie angekündigt (DOLD & LOSER 2003). Hierbei handelt es sich um die Verbindung eines Laser Trackers mit photogrammetrischen Messmethoden. Damit kann nicht nur die Position, sondern auch die Orientierung beliebiger Objekte im Raum in Echtzeit gemessen werden.

2 Laser Radar und Laser Tracker

Die Messmethoden eines Laser Trackers und eines Laser Radars sind sehr ähnlich. Beide Systeme arbeiten nach dem Prinzip einer Totalstation (Winkel- und Distanzmesser). Für die Bestimmung der Koordinaten eines Messpunktes werden von einem Standpunkt aus der Horizontalwinkel (H), der Vertikalwinkel (V) und die Distanz (D) zum Messpunkt gemessen. Aus diesen Beobachtungen können die Koordinaten des Messpunktes (X,Y,Z) in Echtzeit berechnet werden (Abb. 1). Während die Distanzmess-technologie des Laser Trackers einen Reflektor am Messpunkt erfordert, kann das Laser Radar ohne Reflektor die Entfernung zum Messpunkt bestimmen. Das Laser Radar digitalisiert somit das Objekt berührungslos, was im folgenden mit „Scanning“ bezeichnet wird. Im Gegensatz hierzu bietet der Laser Tracker die Möglichkeit, den Reflektor sehr schnell zu verfolgen, im folgenden mit „Tracking“ bezeichnet.

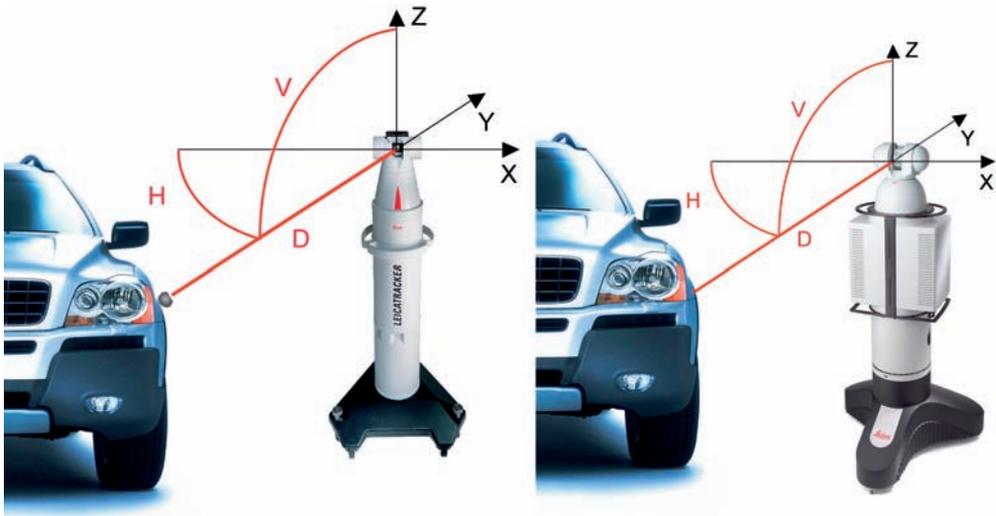


Abb. 1: Laser Tracker und Laser Radar messen nach dem Prinzip der Totalstation; der Laser Tracker mit Hilfe eines Reflektors, das Laser Radar berührungslos.

2.1 Scanning

Das Laser Radar LR200 verwendet eine Distanzmesstechnologie, die als Frequenz-Moduliertes Kohärentes Laser Radar bezeichnet wird (engl. Frequency Modulated Coherent Laser Radar, FMCLR; Details in LEICA 2002). Die besondere Eigenschaft dieser Technik ist die hohe Messgenauigkeit bei Entfernungen bis zu 60 Meter. Messgenauigkeit und Messzeit werden im Wesentlichen durch den gewählten Messmodus bestimmt. Voraussetzung für genaue berührungslose Entfernungsmessungen ist, dass der Laserstrahl auf die Oberfläche des Messpunktes am Objekt fokussiert wird. Im sogenannten „Pseudo-Vision-Mode“ wird der Laserstrahl auf eine mittlere Entfernung des Messobjekts vom LR200 fokussiert. Damit erreicht man bei einer Messrate von bis zu 1000 Punkten pro Sekunde eine Messgenauigkeit von etwa 0.1–0.2 mm. Im „Metrology-Mode“ wird der Laserstrahl für jeden Messpunkt neu fokussiert. In diesem Mode lässt sich die Messgenauigkeit auf 0.05 mm bei einer Messrate von 20 Punkten pro Sekunde steigern. Die höchste Genauigkeit von etwa 0.01 mm wird im „Enhanced Metrology Mode“ bei rund zwei Punkten pro

Sekunde erreicht. In diesem Messmode wird nicht nur für jeden einzelnen Messpunkt fokussiert, sondern es werden weitere genauigkeitssteigernde Maßnahmen durchgeführt.

Die patentierte Entfernungsmess-Technologie des LR200 erlaubt eine Distanzmessung auch bei sehr schwach zurückkommendem Laserstrahl. Die Leistung des ausgehenden Laserstrahls beträgt 0.007 Watt und selbst bei einer Abschwächung des reflektierten Signals um den Faktor 1×10^{-9} (d. h. 0.000 000 000 007 Watt) kann die Distanz noch ermittelt werden. Dies hat den großen Vorteil, dass man nahezu alle Materialien mit dem Laser Radar digitalisieren kann, sei es Plastik, Metall, Spiegel, Glas, Holz, Stoff... , alles ist möglich, mit Ausnahme von Wasser.

Als Standardregel gilt, dass der LR200 innerhalb seiner Spezifikationen messen kann, solange der Winkel zwischen dem einfallenden Laserstrahl und der Flächennormalen (Abb. 2) 45° nicht überschreitet. Allerdings können optisch diffuse Oberflächen (nicht polierte Flächen) selbst bei einem Einfallswinkel von bis zu 85° hochgenau vermessen werden. Bei stark polierten Oberflächen, wie z. B. Spiegeln, sollte der Einfallswinkel nicht größer als 20° sein.



Abb. 2: Einfallswinkel ist der Winkel zwischen dem Laserstrahl und der Flächennormalen.

Das Laser Radar kann nicht nur Spiegeloberflächen vermessen, sondern ist auch in der Lage, mittels eines Spiegels „um die Ecke“ zu messen. Dazu wird die Orientierung eines fest montierten Spiegels mit dem Laser Radar ermittelt, um den optischen Pfad zu berechnen, den der Laserstrahl bei der Umlenkung des Spiegels durchläuft. Durch dieses Verfahren können Objekte von mehreren Seiten, d. h. auch von hinten, mit nur einer Aufstellung digitalisiert werden.

Einer der wesentlichen Vorteile der Laser Radar Technologie ist, dass sie das berüh-

rungslose Messen erlaubt. Dies ist besonders dann von Vorteil, wenn Objekte manuell nicht erreicht werden können, wenn sie nicht berührt werden dürfen oder wenn beispielsweise wiederkehrende oder zeitaufwändige Messungen automatisch effizienter durchgeführt werden sollen.

2.2 Tracking

Die nun schon seit über einem Jahrzehnt in der Industrie bewährte Laser Tracker Technologie weist zwei unterschiedliche Distanzmessmethoden auf. Zum einen erlaubt das Heterodyne-Laser-Interferometer sehr hohe Messraten von bis zu 3000 Messungen pro Sekunde. Zum anderen können mit dem Absolut-Distanzmesser (ADM), der auf einer Polarisations-Modulation beruht, Messungen in hohem Grad automatisiert werden. Sowohl die Interferometer-Lösung wie auch die Absolut-Distanzmesstechnik werden näher in LÖFFLER (2002) beschrieben.

Ein entscheidender Vorteil der Laser Tracker Technologie ist die Möglichkeit, sich schnell bewegende Messpunkte nicht nur verfolgen, sondern auch während der Bewegung messen zu können. Das Tracking-Prinzip (Abb. 3) lässt sich wie folgt in Kürze beschreiben: Der vom Laser ausge-

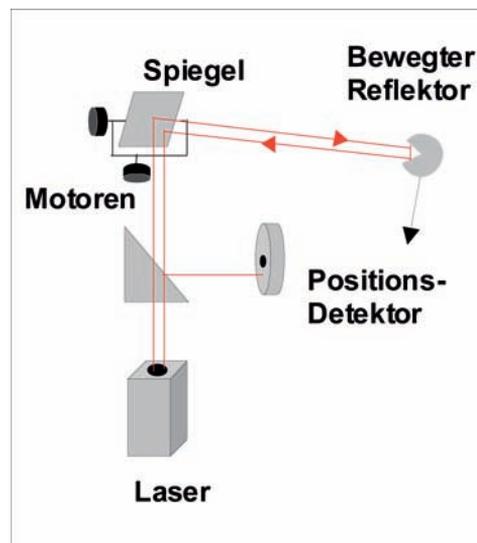
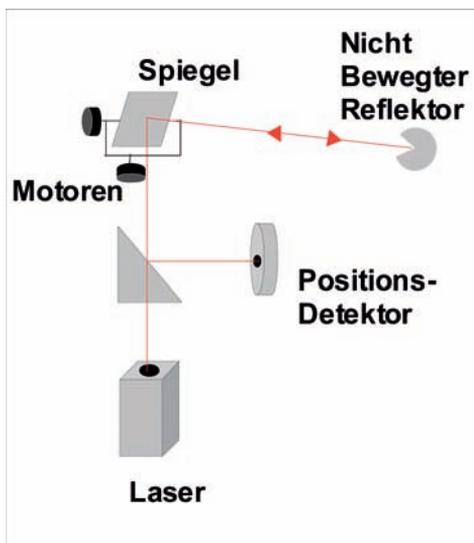


Abb. 3: Das Tracking Prinzip.

hende Strahl wird über einen Spiegel zum Reflektor gesendet und der zurück kommende Strahl wird auf einen Positionsdetektor geleitet. Bei einem nicht bewegten Reflektor werden die Motoren in Sekundenbruchteilen durch den Positionsdetektor so gesteuert, dass der Laserstrahl exakt in die Mitte des Reflektors zielt. Unmittelbar nach der genauen Positionierung erfolgt dann das Messen der Horizontal- und Vertikalwinkel wie auch die Distanzmessung. Bewegt sich jedoch der Reflektor, verläuft der zurück kommende Laserstrahl parallel zum ausgehenden. In einem solchen Fall misst der Positionsdetektor den Versatz und diese Information wird verwendet, um einerseits die gemessenen Horizontal- und Vertikalwinkel zu korrigieren, andererseits die Motoren des Spiegels so zu steuern, dass der Laserstrahl dem bewegten Reflektor folgt. Der Messzyklus auf dem Positionsdetektor beträgt beim Leica Laser Tracker 3000 Mal pro Sekunde. Als Resultat lassen sich 1000 Messpunkte pro Sekunde ausgeben. Der Messpunkt kann sich mit mehr als vier Meter pro Sekunde bewegen und Beschleunigungen von mehr als 2 g aufweisen.

Laser Tracker Messungen sind in einem Messvolumen von bis zu 80 Meter Durchmesser möglich. In diesem Messvolumen erreicht der Laser Tracker eine Messgenauigkeit von 10 Mikrometer pro Meter Messdistanz, dies entspricht bei 5 Meter einer Messunsicherheit von 0.05 mm.

Der Laser Tracker hat sich insbesondere im Bereich der Montage und Prüfung von Bauteilen und Bauvorrichtungen bewährt. Hier erlaubt die Tracking-Technologie, die

Abweichungen zwischen Soll und Ist in Echtzeit zu bestimmen und den Bediener des Systems zu unterstützen, den Sollzustand des Bauteils oder der Bauvorrichtung wieder herzustellen. Laser Tracker werden in zunehmendem Maße auch dazu eingesetzt, Roboter zu kalibrieren oder in Produktionsprozessen Maschinen niedriger Genauigkeit in Echtzeit in die korrekte Position zu führen.

2.3 Kombination von Laser Tracker und Photogrammetrie

Schon vor über einem Jahrzehnt stellte WESTER-EBBINGHAUS (1988) ein Messkonzept vor, bei dem ein motorisierter Theodolit (Winkelmessung) mit einer Videokamera kombiniert wurde. Durch die Kombination der Laser Tracker Technologie (Winkel- und Distanzmessung) mit einer digitalen Vario-Optik-Kamera wurde dieser Ansatz konsequent für die industrielle Anwendung weiterentwickelt (LOSER & KYLE 2003). Es entstand ein Messsystem, mit dem man nicht nur die Position eines Messpunktes (Reflektors), sondern auch die Orientierung eines Objektes im Raum bestimmen kann.

2.3.1 Prinzip des 6 DOF Tracking

Das Prinzip basiert auf der Kombination eines Laser Trackers mit einer Hochgeschwindigkeits-Kamera (Abb. 4). Das zu messende Objekt (z. B. ein Handtaster, Handscanner, Roboterkopf) besitzt einen integrierten Reflektor und ein Diodenfeld. Die Lage des Reflektors zum Diodenfeld

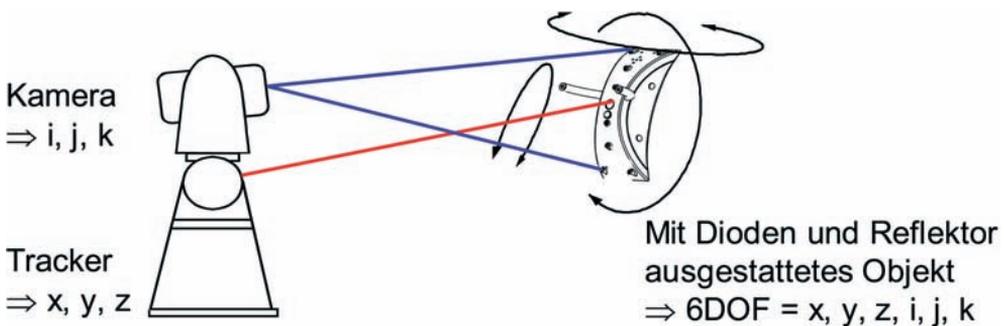


Abb. 4: Das Prinzip des 6 DOF Tracking.



Abb. 5: Hochgeschwindigkeitskamera T-Cam.

wird dabei als bekannt vorausgesetzt. Während der Laser Tracker die genaue Position des Reflektors (x, y, z) mittels Winkel- (H, V) und Distanzmessung (D) bestimmt, ermittelt die Kamera die Orientierung (i, j, k) des Diodenfeldes mittels digitaler Bildmessung. Mit dieser Anordnung können nun sechs Freiheitsgrade (6 DOF = 6 Degrees of Freedom) beliebiger Objekte im Raum mit einer Echtzeitrate von mehr als 100 Hz gemessen werden.

2.3.2 Hochgeschwindigkeitskamera T-Cam

Speziell für diese Anwendung wurde die Hochgeschwindigkeitskamera T-Cam entwickelt (Abb. 5). Die Kamera besitzt im Inneren einen Titanrahmen, der bei geringem Gewicht hohe mechanische Stabilität garantiert. Der eingebaute Bildsensor, ein CMOS Chip mit 1024×1024 Pixel, ermöglicht eine Bilderfassungsrate von 100 Hz und ein integrierter „Digital-Signal-Prozessor“ (DSP) wertet die Messbilder simultan zur Bilderfassung aus. Die Kamera ist mit einem Vario-Objektiv ausgerüstet, das für Entfernungen zwischen 1.5 Meter und 15 Meter ein konstantes objektseitiges Sichtfeld von 30×30 cm garantiert (Abb. 6). Der Vorteil des

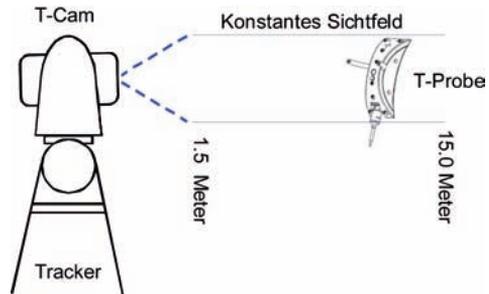


Abb. 6: T-Cam mit konstantem Sichtfeld zwischen 1.5 m und 15 m.

konstanten Sichtfeldes ist eine nahezu entfernungsunabhängige Genauigkeit der Orientierungswinkel (i, j, k) von etwa 0.01 grad.

Die Kalibrierung der T-Cam basiert auf den in der Photogrammetrie üblichen Parametern digitaler Kameras, wie z. B. Kamerakonstante, Hauptpunktlage, Affinitätsparameter, radialsymmetrische und tangentielle Verzeichnung. Allerdings musste für die T-Cam ein spezielles Kalibrierverfahren entwickelt werden, um dem schmalen Öffnungswinkel bei gleichzeitig großen Entfernungen von bis zu 15 m Rechnung zu tragen. Die Kamerakalibrierung wird fabrikkseitig in einem vollautomatisierten Prozess durchgeführt. Die Vor-Ort-Kalibrierung der Kamera zum Laser Tracker wird durch eine Funktion mit 10 Parametern beschrieben.

Das System „Laser Tracker und T-Cam“ erlaubt die Verfolgung eines signalisierten Objektes, das sich mit einer Geschwindigkeit von bis zu 2 m/sec und einer maximalen Beschleunigung von 2 g bewegt. Durch diese Messtechnologie können somit in Echtzeit (100–500Hz) die sechs Freiheitsgrade bewegter Objekte bestimmt werden.

2.3.3 Die handgeführte Koordinaten-Messmaschine T-Probe

Die T-Probe ist ein handgeführter Messtaster, dessen Position und Orientierung im Raum durch das System „Laser Tracker und T-Cam“ bestimmt werden. Sie ermöglicht freihandgeführte Messungen in einer radialen Entfernung vom Laser Tracker von bis zu 15 Meter. Die T-Probe besteht aus einem leichten Kohlefasergehäuse, in dem sich

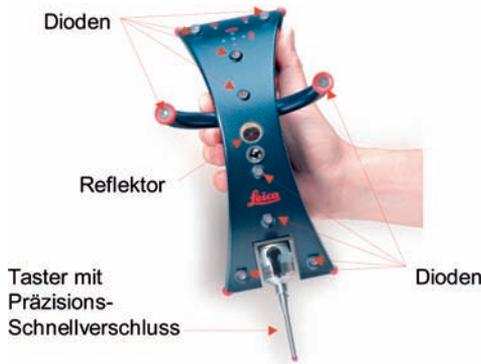


Abb. 7: T-Probe, die handgeführte Koordinaten-Messmaschine.

zentral ein Reflektor und räumlich verteilt 10 Dioden befinden. Zwei Präzisions-Schnellverschlüsse erlauben das Auswechseln beliebiger Messtaster, ohne dass Neukalibrierungen notwendig sind.

Um einen kabellosen Betrieb der T-Probe zu gewährleisten, erfolgt die Stromversorgung durch eine integrierte Batterie. Die Kommunikation zwischen der T-Probe und der Basisstation (Laser Tracker und T-Cam) erfolgt durch zwei verschiedene Methoden. Zum einen kommuniziert die T-Probe mit der T-Cam durch eine spezielle Helligkeitsansteuerung der Dioden, die mittels Bildverarbeitung in ein Kommunikationsprotokoll gewandelt wird (Abb. 8). Die Kommunikation von der Basisstation zur T-Probe wird über den IR-Laserstrahl des Entfernungsmessers realisiert (Abb. 9). Hierfür wird dem Laserstrahl ein Signal aufmoduliert, das durch einen Empfänger hinter dem Reflektor in der T-Probe empfangen wird.

Mit diesen Kommunikationsmethoden wird eine Vielzahl von Operationen automatisiert. Bringt man beispielsweise die T-Probe in das Sichtfeld der T-Cam, so wird automatisch erkannt, welche T-Probe mit welchem Taststift verwendet wird. Mit der handgeführten T-Probe können somit hoch automatisierte Messungen in einem Messvolumen von bis zu 30 m durchgeführt werden. Die Längenmessunsicherheit der T-Probe liegt in einem Messvolumen von 8 m unter 0.1 mm, bei 22 m unter 0.2 mm und bei maximal 30 m unter 0.3 mm.

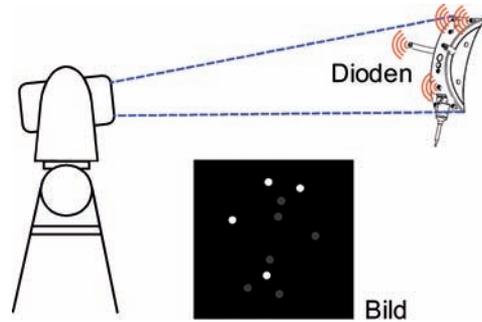


Abb. 8: Kommunikation von Basisstation zur T-Probe.

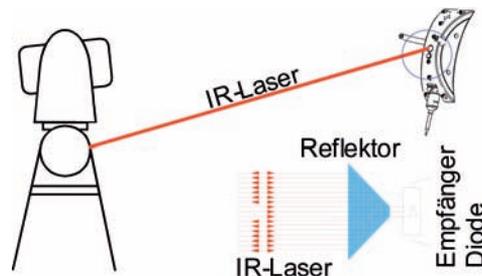


Abb. 9: Kommunikation von T-Probe zur Basisstation.



Abb. 10: T-Probe und Laser Tracker.



Abb. 11: T-Scan und Laser Tracker.

3 Anwendung der Systeme

Die Kombination der Laser Tracker Technologie mit der Photogrammetrie ermöglicht zwei entscheidende Funktionalitätserweiterungen des Laser Tracker Systems. Zum einen wird es möglich, mit der handgeführten T-Probe in einem großen Messvolumen auch schwer zugängliche Messstellen einfach zu vermessen. Diese Anwendungen findet man häufig bei der Vermessung von Fahrzeugen (Abb. 10) oder auch in Produktionslinien der Automobil- und Flugzeugindustrie.

Der Hersteller des Systems, Leica Geosystems, hat weiterhin angekündigt, dass – ähnlich wie die T-Probe – ein handgeführter Scanner T-Scan als Produkt auf den Markt kommen wird (Abb. 11). Mit diesem Scanner wird es beispielsweise möglich sein, in einem großen Messvolumen Oberflächen flexibel mit kurzen Vorbereitungszeiten zu



Abb. 12: Laser Radar zur Vermessung großer unzugänglicher Objekte.

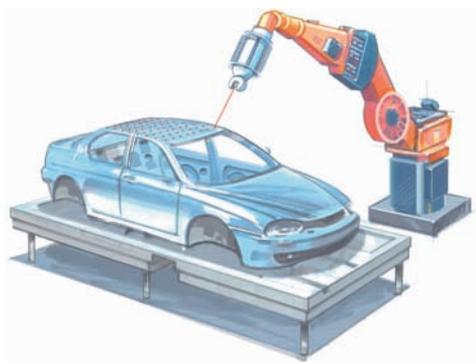


Abb. 13: Laser Radar zur vollautomatischen Vermessung.

digitalisieren – eine Aufgabe, die sehr häufig in den Designabteilungen der Automobilindustrie anzufinden ist. Die vorgestellte 6 DOF-Tracking-Technologie lässt sich für eine Vielzahl anderer Anwendungen einsetzen, und zwar immer dann, wenn nicht nur die Positionen, sondern auch die Orientierungen bewegter Objekte zu messen sind. So beispielsweise bei der Kalibrierung von Robotern, Maschinen und der Montage großer Objekte (DOLD 2002).

Die Laser Radar Technologie wird zunehmend in Bereichen eingesetzt, in denen große und unzugängliche Objekte vermessen werden müssen (Abb. 12). In diesen Fällen liefert die berührungslose Messtechnik große Vorteile gegenüber allen taktilen Messmethoden. Aber auch die Möglichkeit, Messprozesse vollautomatisch zu gestalten, findet vor allem in der Automobilindustrie großes Interesse (Abb. 13). Vor allem dann, wenn in der Zukunft die 100% Kontrolle der Fahrzeuge möglich wird.

4 Schlussbemerkung

Die hochgenaue Scanning-Technologie des Laser Radars wurde erst vor kurzem präsentiert. Große Flugzeughersteller wie beispielsweise Airbus und Boeing haben dennoch bereits erste Integrationen dieser Messtechnik in ihre Produktionsprozesse vorgenommen. Es ist zu erwarten, dass in den nächsten Jahren die Verbreitung des Laser Radars stark zunehmen wird. Die Laser Tracker Technologie wurde schon vor über 10 Jahren in die industrielle Messtechnik eingeführt und heute werden weltweit mehr als 1500 Laser Tracker erfolgreich eingesetzt. Durch die Funktionserweiterung des Leica Laser Trackers mit der T-Probe und dem T-Scan wird diese Technologie in Anwendungsgebiete vorstoßen, in denen heute z. B. klassische Koordinatenmessmaschinen eingesetzt werden.

Literatur

DOLD, J., 2002: Real-time 3D motion control with laser tracker technology. – Presented to Coordinate Measuring System Conference, CMSC

- 2002, <http://www.leica-geosystems.com/ims/application>.
- DOLD, J. & LOSER, R., 2003: The concept and application of real-time 6DOF tracking. – Presented to Coordinate Measuring System Conference CMSC 2003, <http://www.leica-geosystems.com/ims/application>.
- LEICA, 2002: Frequency modulated coherent laser radar technology description. – Leica Publication U1 405-0en.
- LOSER, R. & KYLE, S., 2003: Concept and components of a novel 6DOF tracking system for 3D metrology. – In: GRÜN/KAHMEN (Hrsg.): Optical 3-D Measurement Techniques VI, Vol. II. – pp. 55–62, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich.
- LÖFFLER, F., GOTTWALD, R., GREENWOOD, T., HÖLTING, R., LOSER, R., LUHMANN, T., MIEBACH, R., MÜNCH, K.-H. & SCHIRMER, W., 2002: Maschinen- und Anlagenbau. – In: MÖSER, MÜLLER, SCHLEMMER & WERNER (Hrsg.): Handbuch Ingenieurgeodäsie, 2. Aufl. – pp. 169–182, Wichmann Verlag, Heidelberg.
- WESTER-EBBINGHAUS, W., 1988: High resolution digital object recording by video-theodolite. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 27 (B10): V/219–223.

Anschrift des Autors:

Dr.-Ing. JÜRGEN DOLD
Metrology Division, Leica Geosystems AG
Mönchmattweg 5
CH-5035 Untertentfelden
e-mail: juergen.dold@leica-geosystems.com

Manuskript eingereicht: September 2003

Angenommen: Oktober 2003

Photogrammetrische Low-Cost-Systeme

STEPHAN ZINNDORF, Diepoldsau

Keywords: photogrammetric low-cost systems, semi-metric camera, bundle block adjustment, user-friendly systems

Zusammenfassung: Die Entstehung photogrammetrischer Low-Cost-Systeme für Nahbereichsanwendungen Mitte der 80er Jahre war eng verknüpft mit der Entwicklung der Teilmesskamertechnik durch WESTER-EBBINGHAUS (1981). In diesem Bericht wird das Konzept eines solchen Low-Cost-Systems erläutert, seine Komponenten werden kurz beschrieben. Es folgt ein Überblick über wichtige Anwendungen und aktuelle Entwicklungstendenzen. Hierbei stellt sich die Kombination aus unterschiedlichen Messmethoden (3D-Photogrammetrie, Bildentzerrung, Tachymetrie, Handaufmaß) als ideales Messwerkzeug heraus.

Summary: *Photogrammetric low-cost systems.* Semi-metric cameras introduced by WESTER-EBBINGHAUS (1981) have initiated the development of photogrammetric low-cost systems for close range applications in the mid-eighties. In this paper, the concept of a low-cost system and its components are described. A general view of important applications is followed by a survey of latest trends. The combination or integration of different measurement methods (3-D photogrammetry, image rectification, 3-D tacheometry, digital hand-held measurements) seems to be the optimum solution.

1 Einleitung

Die jahrzehntelang dominierenden analogen photogrammetrischen Stereoauswertegeräte wurden Ende der 70er bis Anfang der 80er Jahre durch analytische Stereoauswertesysteme abgelöst. Als Bildmaterial wurden zu dieser Zeit nahezu ausschließlich Messkamera-Aufnahmen benützt. Mitte der 80er Jahre wurde seitens der Anwender verstärkt das Bedürfnis geäußert, photogrammetrische Messtechnik im Nahbereich einzusetzen. Zum Teil wurden hierfür die vorhandenen Instrumente und Auswerteprogramme verwendet. Sie erwiesen sich aber für die speziellen Belange der Nahbereichsphotogrammetrie als weniger geeignet. Insbesondere schienen die an Hochschulen entwickelten Triangulationsprogramme (Software zur Bündelblockausgleichung) für den „normalen“ Photogrammetrie-Operateur zu komplex in der Handhabung, obwohl sie alle Voraussetzungen zur Berücksichtigung der Besonderheiten der terrestrischen Photogram-

metrie boten. Man denke an die Verarbeitung zusätzlicher Beobachtungen der unterschiedlichsten Art (z. B. räumliche Streckeninformationen, Teilpasspunkte, Ebenenbedingungen, Richtungsmessungen u. v. a. m.).

Der Markt jedoch verlangte ein einfaches, kostengünstiges Werkzeug für vielfältige Aufgabenstellungen in der Architektur, Denkmalpflege und nicht zuletzt im Polizeibereich (Verkehrsunfall- und Tatortvermessung). Als Reaktion auf diese Bedürfnisse wurden 1986 die ersten photogrammetrischen Low-Cost-Systeme vorgestellt (FELLBAUM 1992). Das Konzept dieser und folgender Systeme war sehr ähnlich:

- kostengünstige Hardwarekomponenten
- flexible Aufnahmen vor Ort
- einfach zu bedienende, benutzerfreundliche Auswertesoftware.

Eng verbunden mit der Entstehung der Low-Cost-Systeme war die Verfügbarkeit von Teilmesskameras (WESTER-EBBINGHAUS 1981).

2 Konzeption und Entwicklung kostengünstiger photogrammetrischer Auswertesysteme

Low-Cost-Systeme haben die Photogrammetrie einer breiten Anwenderschicht aus den verschiedensten Bereichen zugänglich gemacht. Die Systeme sind nicht in erster Linie für Fachleute der Vermessung konzipiert, sondern für Anwender ohne spezielle Vermessungs- oder Photogrammetrie-Kenntnisse wie Architekten, Planer, Polizisten. Photogrammetrische Verfahren sind dort vorteilhaft, wo eine Vermessung in Verbindung mit einer Dokumentation der vorhandenen Situation erforderlich ist. Die schnelle Datenerfassung vor Ort in Form photographischer Messaufnahmen ist ein weiterer Vorteil. Im Folgenden wird kurz auf die Komponenten eines Low-Cost-Systems eingegangen.

2.1 Kamera

Teilmesskameras (Réseaukameras) entstanden durch Modifikation handelsüblicher, qualitativ hochwertiger Kameras. Sie waren im Verhältnis zu Messkameras flexibler handhabbar, wesentlich leichter und boten professionelle photographische Technik für die Aufnahme vor Ort. Die für eine photogrammetrische Auswertung notwendigen Kameradaten wurden meist durch Feldkalibrierverfahren bestimmt (WESTER-EBBINGHAUS 1983 und 1985; ZINNDORF 1985). Mit den ersten hochauflösenden Digitalkameras



Abb. 1: Komponenten eines photogrammetrischen Low-Cost-Systems (um 1986).

verloren die Réseaukameras an Bedeutung. Die Ideen und Prinzipien der Kamerakalibrierung, die wesentlich zum Erfolg der Teilmesskamertechnik beigetragen haben, behielten allerdings ihre Gültigkeit auch für digitale Kamerasysteme.

2.2 Personal Computer

Die ersten verfügbaren PCs (ca. 1985) boten sich für die Auswertesoftware eines Low-Cost-Systems an (Abb. 1). Auf die rasante Entwicklung der Personal Computer und die damit verbundenen Möglichkeiten für die Auswertesoftware wird an dieser Stelle nicht eingegangen.

2.3 Bildmessung

Die Bildmessung wurde anfangs auf großformatigen Digitalisiertablets durchgeführt. Diese waren trotz ihrer geringen Messgenauigkeit von ca. 0.1 mm als Messgerät geeignet, da in vergrößerten Papierabzügen der Messbilder gemessen wurde (ca. 8-fache Vergrößerung bei Kleinbildnegativen). So wurde in Bezug auf das Originalnegativ eine durchaus respektable Genauigkeit von ca. 0.012 mm im Bild erreicht, die für die anvisierten Objektgenauigkeiten in Architektur und Forensik ausreichend waren. Die Réseautchnik erlaubte neben der Kompensation von Fehlern durch Nichtplanlage des Films bei der Aufnahme und durch Filmverzug auch die Korrektur von Fehlern, die bei der Vergrößerung des Negativs auf den Papierabzug entstanden.

Sobald digitale bzw. digitalisierte Bilder zur Verfügung standen, wurden die Digitalisiertablets durch die direkte Messung am Bildschirm abgelöst (ASSENMACHER et al. 1996, BENNING & SCHWERMANN 1997).

2.4 Auswertesoftware

Zu einer benutzerfreundlichen Auswertesoftware gehören zunächst einfache und trotzdem flexible Orientierungsmodule. Für analytische Auswertesysteme waren bekannte Passpunkte zur Orientierung der Messbilder zwingend notwendig. Doch die

geodätische Aufnahme von Passpunkten behindert die Flexibilität und Schnelligkeit vor Ort, und sie ist für viele Anwendungen auch gar nicht notwendig (Verkehrsunfallaufnahme, Tatortmessung). Die neuen Systeme mussten in der Lage sein, ein lokales Koordinatensystem festzulegen und dies, wenn nötig, während der Orientierung der Bilder zu ändern.

Durch die hohen Anforderungen an die Flexibilität der Systeme musste die Berechnungssoftware zur Bildorientierung ebenfalls hochentwickelt sein. Dies konnte nur die Bündelblockausgleichung (Bildtriangulation) garantieren. In diesem Berechnungsprozess, in dem die Orientierungsparameter aller Bilder simultan bestimmt wurden, ließen sich ergänzend zu den Bildmessungen zusätzliche geodätische Messungen in Form von Passpunkten, Teilpasspunkten, Strecken-, Richtungsmessungen, Koordinatendifferenzen u.v.a.m. mit unterschiedlicher Gewichtung integrieren. Auch die Online-Kalibrierung der verwendeten Kamera (Bestimmung der Elemente der Inneren Orientierung) im Rahmen des Triangulationsprozesses war in der Regel möglich.

Die photogrammetrischen Orientierungsprogramme mussten so aufbereitet werden, dass ein „Nichtfachmann“ sie problemlos bedienen und die Ergebnisse interpretieren konnte. Hier zeigten sich die Unterschiede der verschiedenen Systeme relativ früh (FELLBAUM 1992). Während zum einen der Schwerpunkt auf die technischen Möglichkeiten der Bündelblockausgleichung gelegt wurde (z. B. Vielzahl zusätzlicher Beobachtungen und Bedingungen, Online-Kalibrierung von Kameras), vereinfachten die Entwickler anderer Systeme die Bedienung durch den Einsatz graphischer Benutzeroberflächen. Bereits Mitte 1992 wurde die erste Auswertesoftware in windows-ähnlicher Oberfläche präsentiert.

Mitte der 90er Jahre kamen sehr preiswerte Softwarepakete wie PhotoModeler (EOS 2003) zur Bildmessung und 3D-Objektmodellierung auf den Markt. Eine Hauptanwendung ist die Herstellung virtueller Modelle mit photorealistischer Textur, z. B. zur Darstellung im Internet.

2.5 Anbindung an CAD-Software

Entsprechend der Marktanforderungen an Low-Cost-Systeme wurden Objektdetails grafisch erfasst und zur Weiterverarbeitung (Beschriftung, Bemaßung, Flächenfüllungen usw.) per DXF-Schnittstelle an ein CAD-System übertragen.

Benutzerfreundlichkeit dominierte auch hier. So konnten beispielsweise gemessene Linien in die am Bildschirm dargestellten Bilder (BENNING & SCHWERMANN 1997) zur Übersicht über die bereits gemessenen Elemente gezeichnet werden (Superimposition).

Ab etwa 1995 wurde die graphische Messung vollständig in die CAD-Umgebung integriert. Damit stand das gesamte Spektrum der Konstruktionsmöglichkeiten eines CAD zur Verfügung, erweitert um die 3D-Dateneingabe einer photogrammetrischen Auswertung.

3 Anwendungsbeispiele

Über Einsatzmöglichkeiten photogrammetrischer Low-Cost-Systeme ist bereits eine Vielzahl von Berichten veröffentlicht worden, eine Zusammenstellung aktueller Beispiele und Problemlösungen ist z. B. in LUHMANN (2002) zu finden. Im Folgenden werden einige typische Anwendungen genannt.

3.1 Architekturphotogrammetrie

Zu diesem Bereich gehören die Gebäudebestandsaufnahme, Fassadenvermessung,



Abb. 2: Gebäudebestandsaufnahme, isometrische Darstellung.

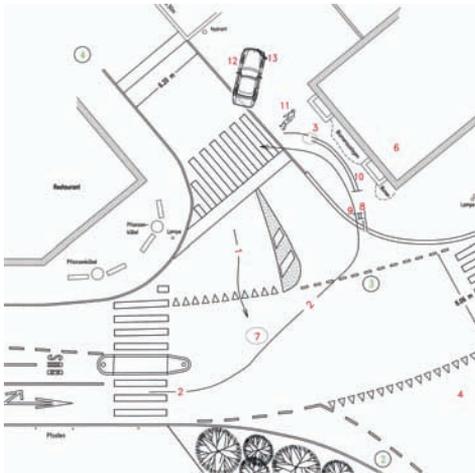


Abb. 3: Ausschnitt aus einer Verkehrsunfallauswertung.

Denkmalpflege, Baufortschrittsdokumentation und verwandte Gebiete (Abb. 2). Etwas weiter gefasst, können die Archäologie und die Vermessung von Industrieanlagen diesem Bereich zugeordnet werden.

3.2 Forensische Anwendungen (Verkehrsunfallaufnahme, Tatortvermessung)

Bei der Verkehrsunfallaufnahme (Abb. 3) und der Tatortvermessung treten die Vorteile photogrammetrischer Low-Cost-Systeme deutlich hervor: Schnelligkeit bei der Aufnahme vor Ort, hohe Dokumentationskraft der Messbilder, Möglichkeit der späteren Nachmessung bzw. Ergänzungsmessung, Konzeption des Auswertesystems für Nicht-Fachleute.

3.3 Sonderanwendungen

Diesem Bereich werden alle übrigen, mehr oder weniger exotischen, in jedem Falle aber interessanten Anwendungen zugerechnet. Beispielhaft seien folgende Bereiche genannt: Medizin (Prothesen, plastische Chirurgie, Zahnmedizin), Nahbereichsluftbildanwendungen (Großschadensereignisse, Bildentzerrungen), Unterwasser-Photogrammetrie (Archäologie), Arbeitsplatzvermessung.

4 Entwicklungstendenzen

Seit hochauflösende, digitale Kamerasysteme Bilder liefern, die in einer Windows-Umgebung direkt am Bildschirm gemessen werden können, haben sich für die photogrammetrischen Low-Cost-Systeme vielfältige Möglichkeiten eröffnet. Die ersten Schritte in Richtung Automatisierung wurden unternommen. So lassen sich runde und elliptische Zielmarken automatisch mit hoher Genauigkeit messen.

Weitere Entwicklungstendenzen sollen hier am Beispiel des Auswertesystems Elcovision 10 erläutert werden. Die Entwickler betrachten dieses System nicht als isoliertes photogrammetrisches System, sondern kombinieren es mit anderen Messmethoden. So wurde, angeregt durch den wachsenden Bedarf an Daten für das Gebäude-/Facility Management ein Theodolit-Messsystem, ergänzt um digitale Handaufmaße, zusammen mit der Photogrammetrie in die gemeinsame Umgebung eines CAD-Programmes integriert – die ideale Plattform für eine Kombination aus Konstruktion und photogrammetrisch/tachymetrischer Datenerfassung, wobei die Kommunikation zwischen allen Systemkomponenten gewährleistet ist (ASSENMACHER et al. 1996).

Abb. 4 zeigt eine tachymetrisch aufgenommene Tatortszene mit einmontierten entzerrten Bildteilen, ein mit geringem Aufwand erstelltes und für den Auftraggeber anschauliches Ergebnis. Dabei werden im Bild Orientierungspunkte festgelegt, die eine Raumebene definieren, anschließend wird der zu entzerrnde Bildteil mit einem Polygon ausgeschnitten und als (entzerrtes) Pixelbild ins CAD-System übertragen (ein Mausklick). Für ein orientiertes Messbild reicht es aus, das Ausschnittpolygon festzulegen, da alle weiteren Arbeitsschritte automatisch erfolgen.

Eine weitere Entwicklung erlaubt eine Dreiecksvermaschung über ausgewählte graphisch gemessene Elemente. Die gebildeten Dreiecke werden im CAD als (ebene) Flächen organisiert. In diese Flächen werden anschließend automatisch Teile eines digitalen Messbildes entzerrt. Die Auswahl,

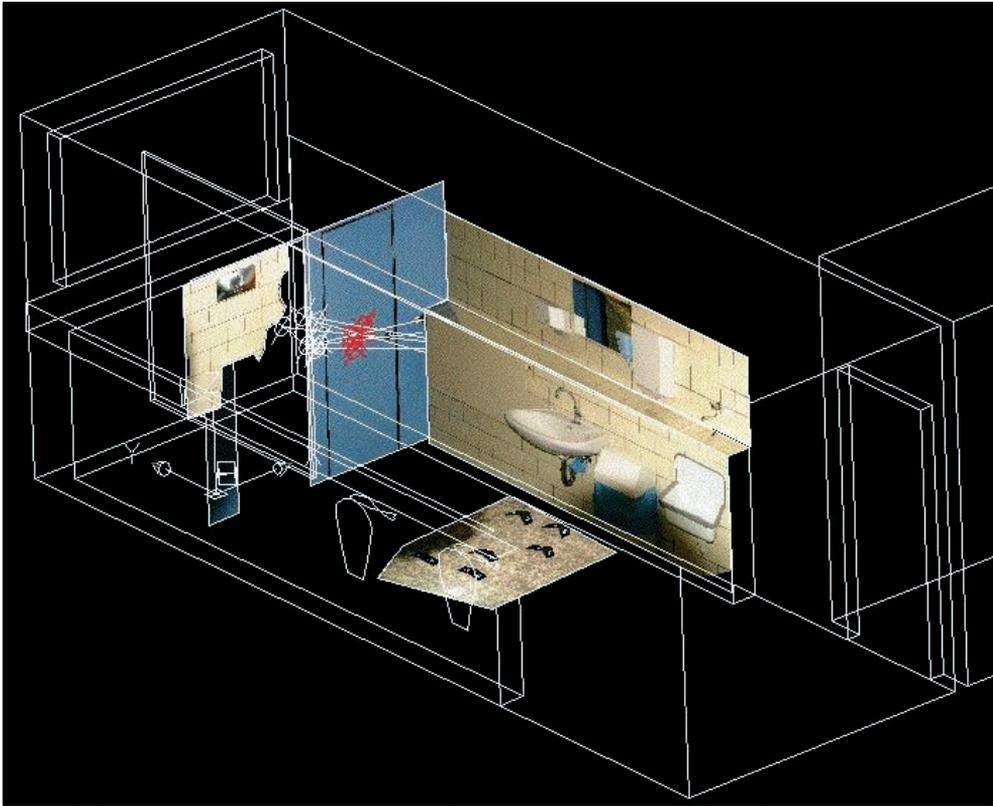


Abb. 4: Tachymetrisch aufgenommener Innenraum mit einmontierten entzerrten Bildteilen.

welches Bild am besten geeignet ist, das gerade bearbeitete Dreieck mit entzerrtem Bildinhalt zu füllen, trifft das Programm selbstständig. Hierbei spielt der Winkel zwischen Dreiecksfläche und Bildachse eine wichtige Rolle. Um diese Möglichkeit zu nutzen, muss das CAD-Programm digitale Bilder darstellen können.

Der Prozess der automatischen Texturerstellung aus entzerrten Bildteilen funktioniert auch in Innenräumen (z. B. Höhlen) und bei überhängenden Geländeteilen, was für einige Programme zur Erstellung digitaler Objektmodelle (DOM) ein ernsthaftes Problem darstellt. Decke, Wände und der Boden werden auf diese Weise zu einem „begehbaren“ 3D-Modell mit photorealistischem Rendering. Abb. 5 zeigt ein Anwendungsbeispiel dieser Technik aus dem Bereich der Architektur.

Die Weiterentwicklung der Low-Cost-Systeme hängt wesentlich von den Bedürfnissen der Anwender ab. Die Richtung wird sicher durch den Wunsch nach mehr Automation im Sinne einer Unterstützung im Auswerteprozess vorgegeben.

Literatur

- ASSENMACHER, L., MÜLLER, H. & ZINNDORF, S., 1996: Eine Komplettlösung für die Gebäudebestandsaufnahme. – Allgemeine Vermessungsnachrichten **103** (10): 380–383.
- BENNING, W. & SCHWERMANN, R., 1997: PHIDIAS-MS – Eine digitale Photogrammetrie-Applikation unter MicroStation für Nahbereichsanwendungen. – Allgemeine Vermessungsnachrichten **104** (1): 16–25.
- EOS Systems, 2003: Beschreibung PhotoModeler. – www.photomodeler.com



Abb. 5: 3D-Modell mit automatisch generierten Flächenfüllungen aus entzerrten Bildteilen.

FELLBAUM, M., 1992: Low-Cost Surveying Systems in Architectural Photogrammetry – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. **24/B5**: 771–777.

LUHMANN, T. (Hrsg.), 2002: Nahbereichsphotogrammetrie in der Praxis. – 318 S., Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg.

WESTER-EBBINGHAUS, W., 1981: Zur Verfahrensentwicklung in der Nahbereichsphotogrammetrie. – Dissertation, Universität Bonn.

WESTER-EBBINGHAUS, W., 1983: Einzelstandpunkt-Selbstkalibrierung – Ein Beitrag zur Feldkalibrierung von Aufnahmekammern. – Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Nr. **289**, München.

WESTER-EBBINGHAUS, W., 1985: Verfahren zur Feldkalibrierung von photogrammetrischen Aufnahmekammern im Nahbereich. – Deut-

sche Geodätische Kommission, Reihe B, Nr. **275**: 106–114, München.

ZINNDORF, S., 1985: Kalibrierung eines terrestrischen Messkammersystems am Beispiel der Aufnahme einer Kirche im Bergsenkungsgebiet. – Deutsche Geodätische Kommission, Reihe B, Nr. **275**: 142–146, München.

Anschrift des Autors:

Dr.-Ing. STEPHAN ZINNDORF
Bienenstrasse 22

CH-9444 Diepoldsau

Tel.: +41 71 7300310, Fax: +41 71 7300311

e-mail: sz@szvermessung.ch

Manuskript eingereicht: September 2003

Angenommen: Oktober 2003

Dokumentation industrieller Anlagen: Vom 2D-Bestandsplan über das GIS zur virtuellen Realität – eine Standortbestimmung

HEINZ-JÜRGEN PRZYBILLA & DETLEV WOYTOWICZ, Essen

Keywords: as-built documentation, 3-D model, texture mapping, virtual reality, visualization

Zusammenfassung: Die Dokumentation industrieller Anlagen stellt ein wesentliches Element für deren Betrieb dar. Sie basiert vielfach auf analoger Datenhaltung, mit dem erklärten Ziel, diese durch digitale Verfahren abzulösen. Neben 2D-organisierten GIS-Systemen gewinnen 3D-Bestandsdaten zunehmend an Bedeutung. Der Mehrwert von 3D-Werksmodellen und daraus abgeleiteten Produkten ist erheblich. Die Evaluation der notwendigen Daten baut dabei in der Regel auf den vorhandenen Datenbeständen auf. Dies hat zur Folge, dass neben der Definition von Modellier-Standards geeignete Workflows zur Datenveredlung bereitzustellen sind.

Summary: *Documentation of industrial facilities: from 2-D as-built plans to GIS towards virtual reality – a review.* The documentation of industrial plants is an important element concerning running conditions and lifetime cycles. It is often based on analogous technical data, although the change to digital methods is a declared aim. In addition to 2-D organized GIS systems 3-D documentation data is getting more and more important. The surplus value of 3-D plant models is significant. The evaluation of the additional data is normally founded on the existing databases. This causes the definition of model standards and suitable workflows for data improvement.

1 Einleitung

Die Dokumentation industrieller Anlagen stellt ein Aufgabengebiet mit vielfältigen Facetten dar, mit Ansprüchen an unterschiedlichste Fachdisziplinen, an Inhalte sowie die Art und Weise der Nutzung. Globale Standort- sowie lokale Objektplanungen, die Integration von Neubaumaßnahmen, aber auch die Überwachung und Laufendhaltung von Produktionsprozessen basieren auf der Kenntnis geometrischer Informationen (PRZYBILLA 1999, MISCHKE & RIEKS 2001). Die notwendige geometrische Datenqualität variiert dabei über eine Bandbreite, die über den Bereich des Meters bis hin zum Submillimeter reicht. Um diesem Anspruch zu genügen, kommen verschiedenartigste Messmethoden zum Einsatz, vom klassischen Handaufmaß bis hin zu (teil-) auto-

matisierten geodätischen und/oder photogrammetrischen Messprozeduren.

Der Erfassung schließt sich die Dokumentationsphase an, die als Folge der allgemeinen Verfügbarkeit von Informationssystemen mit Raumbezug einem grundlegen-

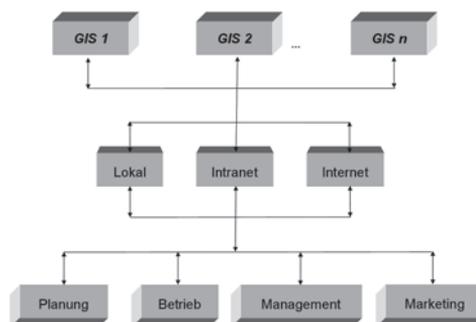


Abb. 1: Zugriffswege und Nutzer des GIS in der Anlagendokumentation.

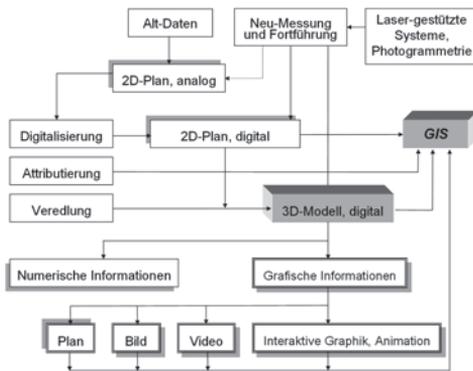


Abb. 2: Produkte der Anlagendokumentation.

den Wandel unterzogen ist. Dies betrifft sowohl die Art und Weise der Datenhaltung, die Inhalte als auch die Möglichkeiten des Zugriffs und der erweiterten Nutzung durch die Endabnehmer (Abb. 1).

Eine besondere Bedeutung nehmen in diesem Kontext grafische Informationen und Produkte ein, für die ein stark gesteigener Bedarf existiert (Abb. 2). Die Heterogenität der vorhandenen Daten, verbunden mit den verschiedenartigsten Benutzerwünschen, führt zu einer Vielzahl unterschiedlicher Präsentationsvarianten, die unter dem „Dach“ des GIS zusammengefasst werden.

Vorhandene Grund- und Projektdaten (sowohl 2D als auch 3D) sollen dabei nicht nur für projektbezogene Einzelbearbeitungen zur Verfügung stehen, sondern im Rahmen multifunktionaler Nutzung auch in Folgeprojekten wirtschaftlich wieder verwendbar sein (RIEKS & LAING 2003).

2 Datenerfassung

Die Entwicklung und Anwendung von Methoden der Nahbereichsphotogrammetrie im industriellen Bereich hat eine langjährige Tradition und ist eng mit den wissenschaftlichen Arbeiten von WILFRIED WESTER-EBBINGHAUS verknüpft (WESTER-EBBINGHAUS 1981, 1983, 1985, 1993). Deren grundlegende Bedeutung und Nachhaltigkeit wird z. B. in LUHMANN (2002b) dokumentiert. Aktuelle Entwicklungen im Bereich des terrestrischen Laserscannings ergänzen die Verfah-

ren der As-built Anlagendokumentation um neue Möglichkeiten (LUHMANN 2002a). Gemeinsam ist diesen Technologien, dass in der Regel unmittelbar 3D-Daten erfasst werden, die Objektformen und -änderungen beschreiben. Im Gegensatz dazu liefert klassische geodätische Messtechnik primär 2D-Ergebnisse, die gegebenenfalls durch „Veredlungsprozesse“ in die dritte Dimension erhoben werden.

Ist der Einsatz der bisher aufgeführten Messmittel vorrangig kleinräumig (objektbezogen), werden für großflächige Anlagen-/Bestandsdokumentationen Methoden aus dem Bereich der Luftbildphotogrammetrie, des Airborne Laserscannings sowie der Tachymetrie genutzt.

3 Modellieren und Visualisieren

Die Abstraktion geometrischer Sachverhalte durch Zahlenkolonnen, Vektorgrafiken und/oder 2-dimensionale Kartendarstellungen steht in direktem Gegensatz zum natürlichen Empfinden des Menschen, der sich in einer 3-dimensionalen Realwelt orientiert. Die daraus oftmals resultierende „Orientierungslosigkeit“ sowie das „Nicht-Verstehen“ der Abstraktion führt zu einer Hinwendung zur virtuellen Realität. Gegenwärtige Zusammenhänge werden realitätsnah, d. h. 3-dimensional, abgebildet, erweitert um Zukünftiges (Planungen) oder reduziert auf Vergangenes (nicht mehr Existentes).

Arbeiten im Bereich georeferenzierter Modell-Visualisierungen (Stadt- und Werksmodelle) sind derzeit durch zwei Aspekte in besonderer Weise beeinflusst. Neben der Definition von Standards (BUZIEK 2003, GRÖGER & KOLBE 2003) im Hinblick auf

- die geometrischen Parameter der „Level of Detail“ (LOD),
- den Umfang abzubildender Inhalte (Objekte) in Anlehnung an vorhandene Datenbestände,
- die Ausgestaltung der Modelloberflächen (z. B. durch Texturierung),
- die Integration in allgemein verfügbare Services (z. B. Location Based Services)

stehen Entwicklungen der Softwarebranche für CAD, Modellier- und Visualisierungstools im Fokus. Die Vielzahl der Produkte, vom „low-level“ bis Profi-System einerseits sowie eine nahezu beliebige Anzahl von Datenformaten andererseits (GRÜN 2002), erfordern besondere Aufmerksamkeit, da sie die Realisierung geeigneter Prozessketten maßgeblich beeinflussen.

Betrachtet man die in Abb. 2 zusammengestellten grafischen Endprodukte, so wird deutlich, dass hier neue Technologien aus dem Bereich der Multimedia in die GIS-Anwendung eingebunden werden müssen. Ästhetische Aspekte spielen dabei, über die Geometrie hinaus, beim Aufbau der virtuellen Welten eine wachsende Rolle. Software-Werkzeuge und Begriffe aus der Filmindustrie gewinnen z. B. bei der Erstellung von digitalen Videos an Bedeutung. Neben dem Wissen über die Funktionalität von Produkten wie 3D StudioMax (DISCREET 2003), CINEMA4D (MAXON 2003) oder Adobe Premiere für professionellen Videoschnitt (ADOBE 2003), gehört dazu die Kenntnis von Audio- und Videoformaten, Codecs zur Datenreduzierung, Videostreaming etc.

Basisfunktionalitäten aus diesen Anwendungsbereichen haben die Entwickler von CAD-Programmen, wie z. B. MicroStation von BENTLEY (BENTLEY 2003), in die ehemals ausschließlich auf Zeichnung und Konstruktion ausgelegten Programme integriert. So ermöglicht MicroStation, neben der Erstellung komplexer Kamerafahrten für Zwecke der Videoanimation, den Datenexport der 3D-Modelle in diverse Video- und Grafikformate. Eine besondere Bedeutung kommt dem VRML-Format zu, das sich trotz diverser Neu- und Weiterentwicklungen (X3D, GeoVRML) als aktueller Standard für interaktive 3D-Welten (auch im Internet) etabliert hat (web3D Konsortium 2003). Das „External Authoring Interface“ (EAI) erweitert VRML darüber hinaus zu einem offenen Sprachstandard mit externer Programmierschnittstelle für Java sowie Möglichkeiten der Einflussnahme auf Szenen und ihre Objekte, so dass z. B. die Einbindung von Sachinformationen mittels Datenbanken ermöglicht wird.

4 Erstellung eines Werksmodells – ein Anwendungsbeispiel

Der Aufbau 3-dimensionaler Werksmodelle ist in der Regel gekoppelt an die vorhandenen 2D-Bestandsdaten der Betreiber. Eine vollständige geometrische Neuerfassung der Standortobjekte, z. B. im Rahmen einer Luftbildauswertung, ist aus verschiedenen Gründen wenig sinnvoll:

- erhöhter Messaufwand bei vollständiger 3D-Erfassung,
- die Messgenauigkeit in Luftbildmaterialien der gängigen Bildmaßstäbe (1: 5000 bis 1: 8000) ist schlechter als die der terrestrisch erfassten (tachymetrischen) Daten,
- unterschiedliche Datenquellen führen zu heterogenen Qualitätsstandards im Datenmodell.

Dies hat zur Folge, dass ausschließlich die im 2D-Datenbestand fehlenden Informationen erfasst werden, d. h.

- Messung der Geländeoberfläche,
- Messung der Gebäudehöhen (Traufe, First),
- Ermittlung der Dachform.

Die hierbei angewandten Auswertestrategien orientieren sich an den verfügbaren Datenquellen (Luftbilder, Laserscanner-Daten) sowie den eingesetzten Auswertesystemen (HAU 2001, GÜLCH et al. 2000, STEIDLER & BECK 2001). Abb. 3 zeigt den Workflow zur Generierung eines Stadt-/Werksmodells auf Basis des bei INVERS (Essen) entwickelten Programmsystems Phaust (Invers 2003).

Der in Abb. 4 dargestellte Ausschnitt aus einem Werksmodell vermittelt einen Eindruck über die Qualität der Modellierung, bei der sämtliche Dachaufbauten mit einer Grundfläche größer 1 m² und einer Höhe des Aufbaus größer 0.5 m erfasst wurden. Derartige Modelle finden ihren Einsatz in den Bereichen Planung (Neu- und/oder Erweiterungsbau), Betrieb (Herleitung von Sekundärmaßen wie Volumen und Abstandsflächen, Simulationen) und Management.

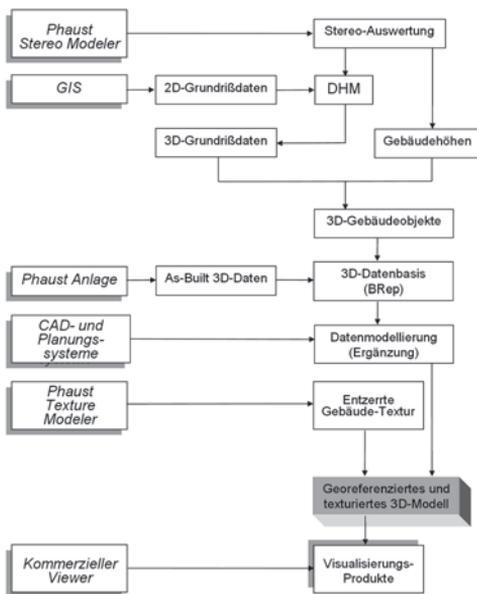


Abb. 3: Workflow zum Aufbau eines georeferenzierten und texturierten 3D-Modells auf Basis des Programmsystems Phaust.

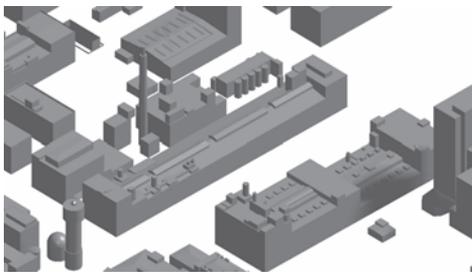


Abb. 4: Gebäudegeometrien eines 3D-Werksmodells auf Basis vorhandener 2D-Bestandsdaten.



Abb. 5: Werksmodell ergänzt um reale Texturen.

Die Objekttexturierung überführt 3D-Modelle in real wirkende Szenen mit Präsentationsmöglichkeiten, z. B. als digitales Video, für Echtzeitnavigation sowie Intranet- und Internet-Applikationen. Zielgruppen sind vor allem Abteilungen für Öffentlichkeitsarbeit, Marketing-Fachleute sowie weltweit agierende Investoren (Abb. 5). Die Funktion der Textur liegt dabei einerseits im Aspekt der „Modellverschönerung“, andererseits kann sie auch ergänzende geometrische Informationen beinhalten. Dies betrifft vorrangig Fassadentexturen, die im Beispiel mit Phaust TextureModeler bezüglich der Objektivverzerrung des digitalen Aufnahmesystems korrigiert und im Anschluss entzerrt wurden.

Bieten Stadt- und Werksmodelle dem Nutzer den „Blick von außen“ auf das Objekt, besteht die Aufgabe des Facility Managements darüber hinaus in der Erfassung, Dokumentation und Darstellung der inneren Strukturen von technischen Anlagen und Gebäuden, mit dem Ziel verbesserter Nutzung, Produktivität und Rentabilität. Die Erstellung komplexer 3D-Modelle für die Zwecke des Facility Managements ist bisher eine noch neue und nur lokal anzutreffende Anwendung. Abb. 6 zeigt den Ausschnitt eines Gebäudekomplexes, der auf der Datenbasis eines Facility Management Systems mit dem high-end CAD-System „speedikon“ (IEZ 2003) erstellt wurde.



Abb. 6: Gebäudekomplex als „Architekturmodell“.

5 Ausblick

Die Nutzung von Geoinformationssystemen hat zu einer nachhaltigen Änderung der Dokumentationsmethoden industrieller Anlagen geführt. Analoge Dokumentationsformen werden in weiten Bereichen durch digitale ersetzt, unterschiedliche Informationsquellen im GIS verknüpft. Eine Erweiterung der aktuellen GIS-Funktionalitäten, unter Einbeziehung der dritten Dimension, stellt dabei einen wichtigen Aspekt dar. 3D-Modelle und daraus abgeleitete Produkte sind ein erster Schritt in diese Richtung. Ihre breite Akzeptanz bei den Nutzern bestätigt die Notwendigkeit weiterer Entwicklungen.

Literatur

- ADOBE, 2003: <http://www.adobe.de>, Produktbeschreibung Adobe Premiere.
- BENTLEY, 2003: <http://www.bentley.de>, Produktbeschreibung MicroStation.
- BUZIEK, G., 2003: Vorstellung der Machbarkeitsstudie „Virtuelle Region an Rhein und Ruhr 2006“. – Vortrag auf dem Symposium „Virtuelle Region an Rhein und Ruhr“, 8. Juli 2003, Bonn – <http://www.cegi.de>
- DISCREET, 2003: <http://www.discreet.de>, Produktbeschreibung 3D Studiomax.
- GRÜN, A., 2002: Return of the Buddha – New Paradigms in Photogrammetric Modeling. – Internationales Archiv für Photogrammetrie, Fernerkundung und Raumbezogene Informationswissenschaften, **34** (5): 363–368.
- GÜLCH, E., MÜLLER, H. & LÄBE, T., 2000: Semi-automatische Verfahren in der photogrammetrischen Objekterfassung. – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation, **2000** (3): 199–209.
- HAU, T., 2001: Erfassung und Visualisierung von Gebäuden und Städten auf Basis photogrammetrischer Auswertungen mit dem Programmsystem Phaust. – Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, **10**: 173–180.
- IEZ, 2003: <http://www.iez.com>, Produktbeschreibung speedicon.
- Invers, 2003: <http://www.invers-essen.de>, Produktbeschreibung Phaust.
- GRÖGER, G. & KOLBE, T., 2003: Interoperabilität in einer 3D-Geodateninfrastruktur. – In: BERNARD, A., SLIWINSKI, A. & SENKLER, K. (Hrsg.): Geodaten- und Geodienste-Infrastrukturen. – Tagungsband der Münsteraner GI-Tage, IfGI Prints **2003** (18), Universität Münster.
- MAXON, 2003: <http://www.maxon.net>, Produktbeschreibung CINEMA4D.
- MISCHKE, A. & RIEKS, H.-J., 2001: As-built-Anlagenvermessung in der chemischen Industrie. – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation, **2001** (1): 5–12.
- LUHMANN, TH. (Hrsg.), 2002a: Photogrammetrie und Laserscanning. – 188 S., Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg.
- LUHMANN, TH. (Hrsg.), 2002b: Nahbereichsphotogrammetrie in der Praxis. – 318 S., Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg.
- PRZYBILLA, H.-J., 1999: Entwicklungen und industrielle Anwendungen in der digitalen Nahbereichsphotogrammetrie. – VDV-Schriftenreihe, **16**: 16–23, Verlag Chmielorz, Wiesbaden.
- RIEKS, H.-J. & LAING, R., 2003: Modelle für die Standortplanung. – Vortrag auf dem Symposium „Virtuelle Region an Rhein und Ruhr“, 8. Juli 2003, Bonn – <http://www.cegi.de>
- STEIDLER, F. & BECK, M., 2001: 3D-Stadtmodelle mit dem CyberCity Modeller – Generierung und Echtzeitbegehung. – Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, **10**: 181–190.
- web3D Konsortium, 2003: <http://www.web3d.org>, <http://www.geovrml.org>
- WESTER-EBBINGHAUS, W., 1981: Zur Verfahrensentwicklung in der Nahbereichsphotogrammetrie. – Dissertation, Schriftenreihe des Photogrammetrischen Instituts der Universität Bonn.
- WESTER-EBBINGHAUS, W., 1983: Ein photogrammetrisches System für Sonderanwendungen. – Bildmessung und Luftbildwesen, **51** (3): 118–128.
- WESTER-EBBINGHAUS, W., 1985: Bündeltriangulation mit gemeinsamer Ausgleichung photogrammetrischer und geodätischer Beobachtungen. – Zeitschrift für Vermessungswesen, **110** (3): 101–111.
- WESTER-EBBINGHAUS, W., 1993: Industriephotogrammetrie. – Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung, **61** (2): 49–50.

Anschriften der Autoren:

Prof. Dr.-Ing. HEINZ-JÜRGEN PRZYBILLA
 Universität Duisburg-Essen, Fachbereich Vermessungswesen, Labor für Photogrammetrie,
 Henri-Dunant-Str. 65, D-45131 Essen
 Tel.: +49-201-183-7332, Fax: +49-201-183-7379
 e-mail: przybilla@uni-essen.de

Dipl.-Ing. DETLEV WOYTOWICZ
INVERS – Industrievermessung & Systeme,
Kruppstr. 82–100, D-45145 Essen
Tel.: +49-201-8127-410, Fax: +49-201-8127-411
e-mail: woytowicz@invers-essen.de

Manuskript eingereicht: Oktober 2003
Angenommen: Oktober 2003

Das Projekt „Die Kirchen von Siena“

ANDREAS BRUSCHKE, Dresden, JÜRGEN PEIPE, Neubiberg & DETLEV WOYTOWICZ, Essen

Die folgenden Kolleginnen und Kollegen waren an den Arbeiten in Siena beteiligt und sind daher im Grunde Mitautoren dieses zusammenfassenden Berichts: ANDREAS DREES, MANFRED FELLBAUM, KAY UWE HANSCH, THOMAS HAU, STEFFI HOFMANN, RÜDIGER KOTOWSKI, ALFONS MEID, HEINZ-JÜRGEN PRZYBILLA, WOLFGANG RIECHMANN, HEINER RÖßMANN, HANS-ULRICH SCHULZ, GERTRUD TERBRACK.

Keywords: architectural photogrammetry, semi-metric camera, bundle adjustment, as-built documentation, Churches of Siena

Zusammenfassung: Es wird über die Entwicklung eines von W. WESTER-EBBINGHAUS initiierten Konzepts zur photogrammetrischen Vermessung von Großbauwerken berichtet.

Summary: *The „Churches of Siena“ project.* The development of a concept for the photogrammetric survey of large architectural objects initiated by W. WESTER-EBBINGHAUS is reported on.

1 Die Anfänge

WILFRIED WESTER-EBBINGHAUS schätzte die italienische Kultur und Lebensart. So lag es nahe, die Photogrammetrie zur Dokumentation von Kulturgütern in Italien einzusetzen. Wichtig und typisch für WESTER-EBBINGHAUS war, wie dabei das Objekt, das es aufzunehmen und auszumessen galt, in Wechselwirkung trat mit der Lösung dieser Aufgabe, d. h. Geräte und Verfahren wurden sozusagen „im Dialog mit dem Objekt“ entworfen und zum Teil auch verwirklicht. Dies gilt insbesondere für die stets an der Praxis orientierte Entstehung der Teilmesskamera und die Entwicklung der kombinierten Ausgleichung inklusive der simultanen Kamerakalibrierung. Hinzu kam das große Interesse, das WESTER-EBBINGHAUS an der Zusammenarbeit mit anderen Wissenschaftlern und Praktikern hatte, vor allem auch im Bereich Architektur, Bau- und Kunstgeschichte.

Die Arbeiten in Italien begannen 1976 mit der Aufnahme des Baptisteriums S. Giovanni in Florenz (WESTER-EBBINGHAUS 1978). Als Kamera wurde eine Mittelformat-Messkamera Wild P32 verwendet, in die als Sonderanfertigung eine Glasplatte mit 18 Réseaukreuzen eingebaut war, um mit handelsüblichem Rollfilm arbeiten zu können. Die frei stationierten Messaufnahmen wurden in einem Rundum-Bildverband zusammengefasst. Die Objektpunktbestimmung erfolgte „in einem Guss“ mit dem Bonner Bündelausgleichungsprogramm BOBUE (MAUELSHAGEN 1977). Auf Passpunkte wurde verzichtet, lediglich einige Strecken wurden vor Ort gemessen und das Gebäude mittels fiktiver Beobachtungen im Objektraum horizontalisiert.

An diesem Projekt lassen sich die Vorstellungen von WESTER-EBBINGHAUS zur photogrammetrischen Bauaufnahme bereits deutlich erkennen: Minimaler Aufnahmewand (keine schwere photogrammetrische

oder geodätische Messausrüstung), Nutzung numerischer Verfahren (Eliminierung von Bilddeformationen, Verzeichnungskorrektur, Bildtriangulation durch Bündelausgleichung) zur Erstellung eines räumlichen Punktfeldes (präzises Punktgerüst zur Orientierung nachfolgender Detailvermessung). Die Erfahrungen mit diesem und anderen Projekten (z. B. Aufnahme der Sehzahe Moschee in Istanbul, ebenfalls mit der Wild P32) führten WESTER-EBBINGHAUS bekanntlich zum Entwurf der Teilmesskamera Rolleiflex SLX mit ihren erweiterten Möglichkeiten. Das Baptisterium in Florenz wurde mit dieser neuen Kamera nochmals aufgenommen und die Ergebnisse wurden verglichen (WESTER-EBBINGHAUS 1981).

Die Kampagnen in Italien wurden 1979 fortgesetzt, jetzt in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Kunsthistorischen Institut in Florenz, das sich die Erforschung und Darstellung der Kirchen von Siena zum Ziel gesetzt hatte. Da die Einrüstung solch großer Kirchenbauten nicht praktikabel ist, sollten die Ansichtspläne photogrammetrisch erstellt werden. WESTER-EBBINGHAUS nutzte diese Gelegenheit zur Weiterentwicklung der photogrammetrischen Methodik.

2 Ein Konzept entsteht

Bei der photogrammetrischen Aufnahme der Kirchen San Agostino, San Domenico, San Francesco und des Doms von Siena wurde im Laufe der Jahre ein Konzept entwickelt, das durch den Einsatz von Teilmesskameras und numerischer Bildauswertung zugleich wirtschaftlich ist und flexibel an die Gegebenheiten vor Ort angepasst werden kann (KOTOWSKI et al. 1983, 1988 und 1989). Die wesentlichen Inhalte dieses Konzepts sind:

- geringer personeller und instrumenteller Aufwand (leichte Kamera mit relativ großem Bildformat und professioneller Phototechnik wie z. B. Wechselobjektive, Rollfilm, automatische Abläufe),
- flexible Kamerapositionierung wegen z. T. ungünstiger topographischer Verhältnisse (steiles Gelände; kleine und sehr große

Aufnahmeentfernungen; Bilder von exponierten Standpunkten für Überblick in bebautem Gebiet), Einsatz stark unterschiedlicher Brennweiten der Kamera



Abb. 1: Messbild der Kirche San Francesco in Siena.



Abb. 2: WESTER-EBBINGHAUS bei der Aufnahme des Doms von Siena.

- (hier: 40 mm bis 1000 mm der Rollei SLX), um geeignete Bildmaßstäbe zu erhalten,
- Aufnahme von Rundum-Bildverbänden aus konvergenten und Stereoaufnahmen, die durch Bildtriangulation miteinander verknüpft werden. Bildverbände im Innen- und Außenraum eines Gebäudes werden durch gemeinsame Punkte in den Fenstern verbunden,
 - Objektinformation, notwendig für die Bestimmung des Maßstabs und die Horizon-tierung des Bildverbandes, wird vor Ort mit minimalen Mitteln bestimmt. Vorzugsweise werden Strecken und Höhenunterschiede beobachtet, hinzu kommen Richtungen, Winkel, Richtungsbündel u.a., um das Instrumentarium der kombinierten Ausgleichung zu erweitern und zu testen. Passpunktmessung vor Ort findet nicht statt,
 - simultane Kamerakalibrierung im Rahmen der Berechnungen zur Objektre-konstruktion, um die Bestimmung von Passinformation für eine Feldkalibrierung zu vermeiden und
 - das durch Bündelausgleichung ermittelte Objektpunktfeld dient als Rahmen für die nachfolgende Detailauswertung mit Hilfe von Stereomodellen.

3 Der Dom von Siena

Das zuvor beschriebene Konzept wurde auch bei der photogrammetrischen Vermesung des Doms von Siena angewendet. Allerdings – und das ist bei den riesigen Dimensionen des Gebäudes klar – in einem ganz anderen Rahmen als bisher. Die finanzielle Grundlage für die Arbeiten bildete ab 1989 ein vom BMFT gefördertes Forschungsprojekt „Photogrammetrische Bauaufnahme und Darstellung des Doms in Siena“. Über die Planherstellung hinaus sollten digitale Entzerrungen, digitale Orthophotos und digitale Objektmodelle generiert werden mit dem Ziel, alle Informationen in einem CAD System zu sammeln und darzustellen. Hierzu gehörten auch geodätische Messungen und eine Vielzahl ergänzender konventioneller Bauaufnahmen, erhalten durch Handaufmaß. Für diesen letztge-

nannten Teil des Projekts waren im Wesentlichen die Professoren W. HAAS, Fachgebiet Baugeschichte der TH Darmstadt, und D. VON WINTERFELD vom Kunstgeschichtlichen Institut der Universität Mainz verantwortlich.

Es ist klar, dass die im direkten Kontakt mit dem Bauwerk vorgenommene Handmessung einen hohen Stellenwert besitzt, wenn es auf Baubeobachtung und Analyse der Baubefunde ankommt. Da die Photogrammetrie für die geometrisch zutreffende Darstellung des Bauwerks sorgt, ist ein Zusammenwirken von Photogrammetern/Geodäten einerseits und Architekten/Bauforschern/Kunsthistorikern andererseits die ideale Lösung. Insgesamt gesehen war es das ehrgeizige Ziel des Forschungsprojekts, durch die Integration der unterschiedlichen Messverfahren ein allgemein für die kommerzielle Bauaufnahme nutzbares, operationelles System zu verwirklichen.

Der Tod von WESTER-EBBINGHAUS im Jahre 1993 bedeutete natürlich einen erheblichen Einschnitt, eigentlich das Ende des Projekts, zumal der Lehrstuhl in Braunschweig nicht mehr weitergeführt wurde. Dennoch, wenn auch nicht alle Ziele erreicht wurden, so konnte doch eine Vielzahl von Ergebnissen vorgestellt werden (FELLBAUM & HAU 1996). Einige Tausend Teilmesskamera-Aufnahmen des komplizierten Objekts wurden in mehreren Kampagnen hergestellt (Abb. 3), Software für die numerische Bestimmung der Orientierungsdaten großer Bildblöcke bereitgestellt und photogrammetrische Verfahren zur bildhaften Objektauswertung entwickelt und getestet.

WESTER-EBBINGHAUS hatte 1990 eine Verbindung zur Fa. Messbildstelle GmbH in Dresden hergestellt, einem erfahrenen Projektpartner auf dem Gebiet der Architekturphotogrammetrie. Die Messbildstelle übernahm ab 1991 die Detailauswertung der Bilder und ergänzte – in einem geförderten Anschlussprojekt – die vorhandenen Aufnahmen durch eine Reihe eigener großformatiger Messbilder, durch die der Auswertaufwand vermindert werden konnte (BRUSCHKE 2002). Die Revision der Auswertergebnisse vor Ort wurde in gemeinsamen

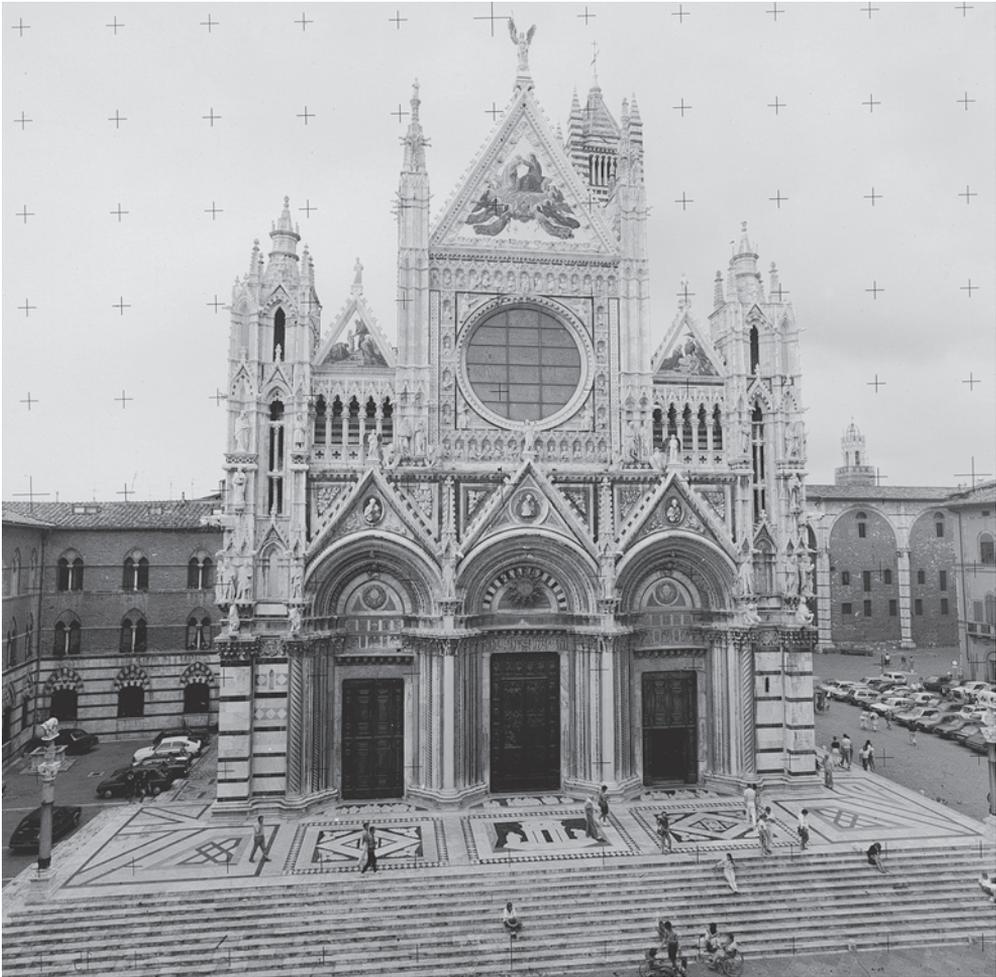


Abb. 3: Messbild der Eingangsfassade des Doms von Siena.

Kampagnen von Photogrammetern und Bauhistorikern durchgeführt, eine Vorgehensweise, die unverzichtbaren Erkenntnisgewinn für beide Partner bringen kann. Insgesamt wurde dem Deutschen Kunsthistorischen Institut ein Konvolut von 34 großformatigen Grundrissen, Schnitten und Ansichten des Doms von Siena übergeben (Abb. 4; RIEDL & SEIDEL 1999).

Literatur

- BRUSCHKE, A., 2002: About Experiences of Documentation of the Cathedral of Siena and Proposals for Quality Assurance in the Documentation of Monuments. – XVIIIth International Symposium of CiPA, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 34-5/C7: 551–555.
- FELLBAUM, M. & HAU, T., 1996: Photogrammetrische Aufnahme und Darstellung des Doms von Siena. – Zeitschrift für Photogrammetrie & Fernerkundung, **64** (2): 61–67.
- KOTOWSKI, R., RÖßMANN, H. & WESTER-EBBINGHAUS, W., 1983: Zweischalige Bündeltriangulation an einem Großbauwerk. – Zeitschrift für Vermessungswesen, **108** (3): 119–127.
- KOTOWSKI, R., PEIPE, J. & WESTER-EBBINGHAUS, W., 1988: Bundle Triangulation in Architectural Photogrammetry: The Basilica of San Francesco in Siena. – Photogrammetric Record, **12** (72): 857–871.

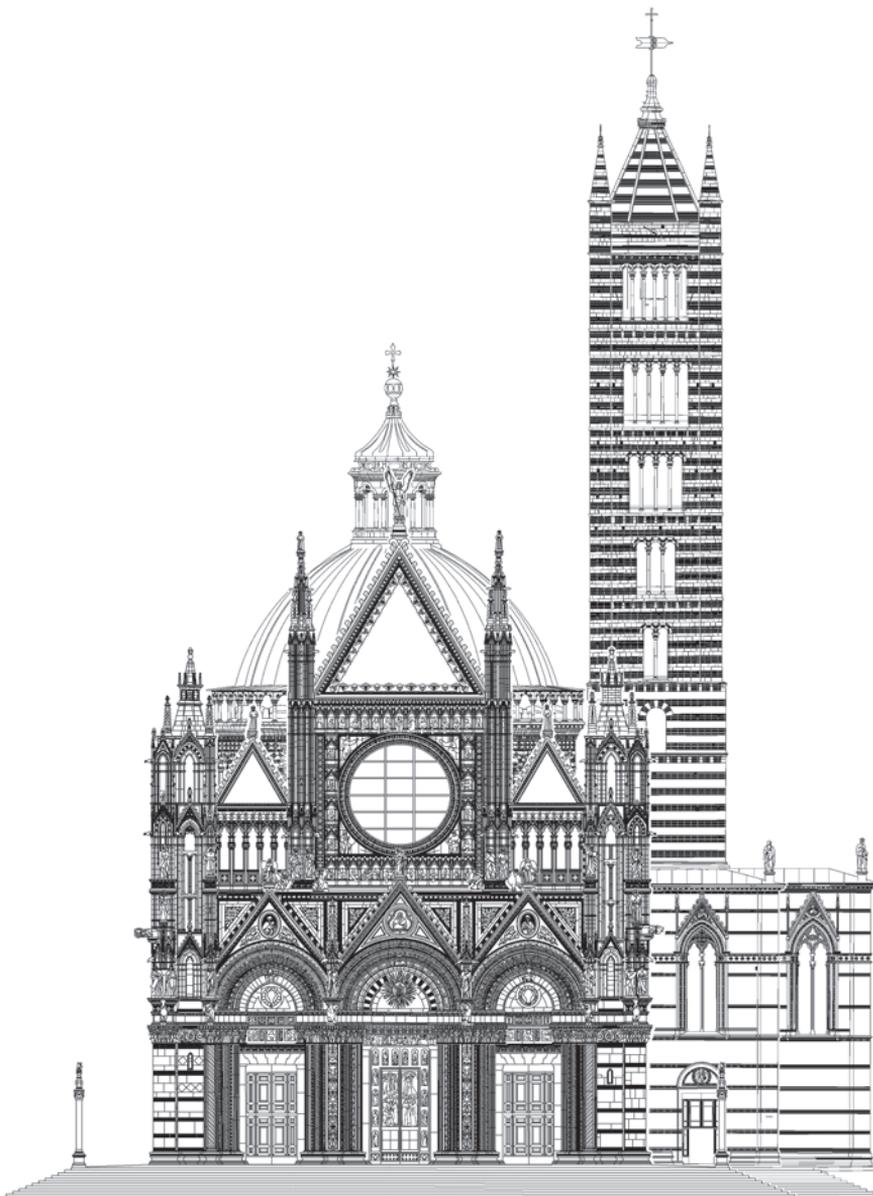


Abb. 4: Stereoauswertung der Westansicht des Doms von Siena (BRUSCHKE 2002).

KOTOWSKI, R., MEID, A., PEIPE, J. & WESTER-EBINGHAUS, W., 1989: Photogrammetrische Bauaufnahme der „Kirchen von Siena“ – Entwicklung eines Konzepts zur Vermessung von Großbauwerken. – Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, **96** (4): 144–154.

MAUELSHAGEN, L., 1977: Teilkalibrierung eines photogrammetrischen Systems mit variabler

Passpunktanordnung und unterschiedlichen deterministischen Ansätzen. – DGK, Reihe C, Nr. 236, München.

RIEDL, P.A. & SEIDEL, M. (Hrsg.), 1999: Die Kirchen von Siena, Bd. 3: Der Dom S. Maria Assunta. – Bruckmann Verlag München (in Teilen erschienen: Bd. 3.1.3 Planband, gedruckt 1999).

WESTER-EBBINGHAUS, W., 1978: Photogrammetrische Punktbestimmung durch Bündelausgleichung zur allseitigen Erfassung eines räumlichen Objektes. – Bildmessung und Luftbildwesen, **46** (6): 198–204.

WESTER-EBBINGHAUS, W., 1981: Zur Verfahrensentwicklung in der Nahbereichsphotogrammetrie. – Dissertation, 103 S., Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

Adressen der Autoren:

Dr.-Ing. ANDREAS BRUSCHKE
Messbildstelle GmbH
Altplauen 19
D-01187 Dresden
e-mail: andreas.bruschke@messbildstelle.de

Dipl.-Ing. JÜRGEN PEIPE
Universität der Bundeswehr München
D-85577 Neubiberg
e-mail: j-k.peipe@unibw-muenchen.de

Dipl.-Ing. DETLEV WOYTOWICZ
INVERS Industrievermessung und Systeme
D-45145 Essen
e-mail: woytowicz@invers-essen.de

Manuskript eingereicht: September 2003

Angenommen: Oktober 2003

Berichte

49. Photogrammetrische Woche

vom 1. bis 5. 9. 2003 in Stuttgart

In diesem Jahr 2003 wurde die „Open Photogrammetric Week“ von der Universität Stuttgart veranstaltet in Kooperation mit den Firmen

- Z/I Imaging,
- Leica Geosystems und
- Inpho.

Die Gesamtleitung hatte Prof. Dr. DIETER FRITSCH, Rektor der Universität Stuttgart und Direktor des Instituts für Photogrammetrie (ifp).

Mit ca. 450 Teilnehmern aus 42 Ländern, mit rund 35 Vorträgen, einer Panel Diskussion und Demonstrationen von neuer Technik und neuen Verfahren an den Nachmittagen war diese Veranstaltung wieder die bedeutendste und eindrucksvollste Leistungsschau der Photogrammetrie des Jahres.

Zu den Teilnehmern gehörten auch Prof. JOHN TRINDER, Australien, Präsident der ISPRS und Prof. OHRAN ALTAN, Türkei, Kongressdirektor für den ISPRS-Kongress 2004 in Istanbul.

Der Sammelband „DIETER FRITSCH: Photogrammetric Week '03“ mit den Kurzfassungen der Vorträge in gedruckter Form und auf CD-ROM ist wieder eine wichtige Informationsquelle für die Teilnehmer an der Veranstaltung und die Leser über aktuelle Technologien und Entwicklungstrends in Photogrammetrie, Fernerkundung und Geographische Informationssysteme. In der Einleitung dafür schreibt der Herausgeber und Autor u.a.:

„Die Veranstaltungsreihe »Photogrammetrische Woche« wurde 1909 von CARL PULFRICH bei Carl Zeiss in Jena gegründet. Sie ist inzwischen zur ältesten *Weiterbildungsveranstaltung* in der Photogrammetrie geworden. Während der »49. Photogrammetrischen Woche« sollte die Diskussion fortgesetzt werden über die aktuellen Entwicklungsthemen:

- Datengewinnung,
- Datenverarbeitung und
- Datenausgabe.

Besondere Beachtung fanden dabei die Fragen:

- Bildgewinnung auf Film,
- digitale Bildgewinnung, ein Entwicklungsschwerpunkt der letzten 10 Jahre,
- verteilte Datenverarbeitung,
- 3D Visualisierung und Darstellung und
- Web-basierte Datenverarbeitung eröffnet neue Horizonte für verteilte Datenverarbeitung, Datenflexibilität und -Verteilung.

Bei Nutzung des Internet als infrastrukturellen Datenlieferanten und als Datenaustauschquelle besteht Unabhängigkeit von Zeit und Ort.

Die Fortschritte bei den 3D Datengewinnungs-Sensoren und der Nachfolgetechnik für 3D Landschaftsmodellierung und 3D Geländemodellen (außerhalb und innerhalb von Gebäuden) führten in den letzten Jahren zu beeindruckenden Ergebnissen in der 3D Visualisierung und Darstellung, zu einer neuen Produktlinie für viele Anwendungen im beruflichen und im täglichen Leben.“

Als Festredner für die Eröffnung der »49. Photogrammetrischen Woche 2003« war der Informatiker Prof. Dr. KURT ROTHERMEL von der Universität Stuttgart gewonnen worden. Sein Vortrag, gemeinsam mit den Ko-Autoren D. Dudkowski, F. Dürr, M. Bauer & C. Becker verfasst, *Ubiquitous Computing-More than Computing Anytime Anyplace? (Allgegenwärtiges Rechnen unter Verwendung miniaturisierter Computer jederzeit und überall?)* war ein beeindruckendes Erlebnis für die Teilnehmer.

Kurz zusammengefasst brachte der Redner zum Ausdruck: Vor 20–30 Jahren gab es in fast jedem Institut und in nahezu jeder Firma einen zentral genutzten *Großrechner* für alle Rechenarbeiten. Danach bekam schrittweise jeder seinen *Personal Computer*. Heute ist das Rechnen *ubiquitous* – *allgegen-*

wärtig. Der Trend geht hin zu miniaturisierten Computern mit multifunktionellen, immer kleineren und immer schnelleren tragbaren Systemen. Die Sensoren und die Rechnerchips sind im Handy, in der Armbanduhr, in der Fotokamera, im Radio, Auto, Fahrrad, in der Waschmaschine, in der Kleidung usw. integriert und mobil. Die Nexus-Plattform verbindet reale Welt und Modell.

Die Integration von Computer-, Kommunikations- und Sensor-Technologien in die täglich benutzten mobilen Gegenstände ist eine Voraussetzung für verbesserte Datenbereitstellung und Kommunikation. Das führt zu einer neuen, höheren Stufe der Anwendung. Dafür ist noch beträchtliche Forschungs- und Entwicklungsarbeit zu leisten. Das betrifft die Bereiche Kommunikation, Daten-Sicherheit, Daten-Management, Modellierung, Darstellung von Modellierungs-Informationen, die Sensor-Integration, Anwendungen und auch soziale Aspekte.

Beeindruckend, informativ und gut besucht waren die Demonstrationen des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart und der Firmen Z/I Imaging, Leica Geosystems, inpho und IGI Kreuztal. Die Demonstrationen waren gegliedert in folgende Komplexe:

- DMC-Vorteile und Nutzen (Z/I)
 - ‚Hands on‘ Photogrammetry – Die Gesamtlösung (Z/I)
 - Photogrammetrische Information-Use IT or Lose it (Z/I)
 - ALS50, LIDAR, Datenprozessierung und Arbeitsablauf (Leica)
 - ADS40, digitaler Luftbildsensor, Datenprozessierung und Arbeitsablauf (Leica)
 - Leica Photogrammetry Suite von Leica Geosystems GIS & Mapping Division (Leica)
 - Entdecke die INPHO-Welt (inpho)
 - Neuigkeiten von NEXUS, das Zukunftsprojekt an der Universität Stuttgart (ifp)
- Ausgestellt und demonstriert wurden außerdem die Systeme CCNS und AEROcontrol zur Kamerapositionierung und -Orientierung (IGI).

Prof. DIETER FRITSCH und seinen Mitarbeitern gebührt wieder ein großes Lob für

diese erstklassige wissenschaftliche photogrammetrische Fachveranstaltung und auch für die damit verbundenen geselligen Abende im Haus der Wirtschaft, in der Weinstadt Strümpfelbach und in der „Alten Kanzlei“.

KLAUS SZANGOLIES, Jena

Trendanalyse zur Intergeo 2003*

„Wissen für die Erde“ lautete das Motto der INTERGEO 2003, die vom 17.–19.9. in Hamburg stattfand. Die Besucherzahlen lagen mit 15.000 nur knapp unter den Zahlen vom letzten Jahr. Über 600 Aussteller und Mitaussteller präsentierten sich auf den rund 21.000 m² Ausstellungsfläche. Parallel zur Messe fand wie auch in den letzten Jahren ein Kongress mit einer Vielzahl von Fachvorträgen statt.

Messtechnik und Sensorik, mobile GIS, Geodateninfrastrukturen, Interoperabilität, Web Services sowie GIS im e-Government lauteten die Schwerpunkte unter denen die Messe in diesem Jahr im Rahmen der Nachwuchsförderung des Runden Tisch GIS e.V. von Studierenden der LMU München und wissenschaftlichen Mitarbeitern der TU München, sowie einem Mitarbeiter des Runden Tisch GIS e.V. durchleuchtet wurde. Der vorliegende Beitrag fasst deren Eindrücke des Messebesuchs zusammen. Der ausführliche Bericht kann unter http://www.runder_tischgis.de nachgelesen werden. Der Runde Tisch GIS war zudem mit einem Stand vertreten, auf dem das aktuelle Projekt zur Interoperabilität auf Basis von OpenGIS Web Services vorgestellt wurde.

Messtechnik und Sensorik

Auffallend war die große Beteiligung der Hersteller von Messtechnik und Sensorik, wobei sich das **Laserscanning** als klarer Messtrend herausstellte. Neben dem flugzeuggestützten Laserscanning stellen im Bereich der Messtechnik und Sensorik zweifelsohne die terrestrischen 3D-Laserscanner einen

* Siehe auch PFG Heft 7/2003, S. 555/556

wichtigen Trend dar, der sich (nimmt man es genau) aus den letzten Jahren fortsetzt. Diese Technologie, bei der in wenigen Minuten ein Objekt(-ausschnitt) mit einem Laserstrahl abgetastet und als 3D-Punktwolke mit Millionen von Punkten abgebildet werden kann, wurde auffallend häufig und umfangreich präsentiert. Neue Anbieter sind hinzugekommen, Produktreihen wurden um neue Modelle erweitert und die Anzahl der Dienstleister wächst, die diese Technologie einsetzen. Eine ganze Reihe von visuell beeindruckenden 3D-Anwendungsbeispielen aus den Bereichen Tage- und Bergbau, Anlagenbau, Archäologie, Architektur, Denkmalpflege, Automobil- und Maschinenbau wurden präsentiert. Diese zeigen, dass die Produkte weiter für die Praxis optimiert werden (z. B. Kopplung mit hochwertiger Digitalkamera oder GPS) und mittlerweile einige Erfahrung mit dieser Technologie vorliegt. Terrestrisches 3D-Laserscanning ist somit auf dem besten Wege, sich als eine weitere Messtechnik neben den bekannten Technologien zu etablieren. Einige Fragen sind jedoch noch offen und die Systeme verbesserungsfähig. Sowohl der effiziente Umgang mit den extrem großen Datenmengen (bis zu 1 GB pro Scan) als auch eine schnelle, möglichst automatische Generierung geometrischer (CAD-)Objekte im gewünschten Datenformat spielen hier eine zentrale Rolle und sind Gegenstand intensiver Entwicklungs- und Forschungsarbeit. Aber vor allem bleibt abzuwarten, ob der Markt die teilweise extrem hohen Systempreise (bis zu 150.000 €) hergibt.

Im **GPS**-Bereich werden neben den (teuren) geodätischen Empfängern immer mehr preisgünstige Sensoren für die Erfassung von Geodaten („GIS Mapping“) angeboten. RealTimeKinematicGPS wird immer kleiner, leichter, schneller und einfacher zu bedienen und mit größerer Reichweite (bis zu 40 km) einsetzbar. Komplette Lotstab-, Gürtel- oder Rucksacklösungen ohne Kabel, mit integriertem UHF und GSM-Modem sind Stand der Technik. Die Integration der beiden Echtzeitkorrekturdienste SAPOS und ascos über automatische GSM-Verbindung ist weit verbreitet. Die Anzahl

der Nutzer von Echtzeitkorrekturdaten steigt an.

Bei den **Tachymetersystemen** reicht die breite Produktpalette vom einfachen Bautachymeter bis hin zur motorisierten Totalstation mit automatischer Prismenerkennung, die als Ein-Mann-Messsystem oder als vollautomatischer Überwachungssensor eingesetzt werden kann. Erste Systeme ohne Kabelverbindung waren zu sehen. Reflektorlose Distanzmessung für Reichweiten über 300 m in mm-Genauigkeit, benutzerfreundliche Bedienung über graphisch gestützte Software sowie Datenspeicherung und -austausch via PC-Card ist wie bei GPS Stand der Technik.

GIS-Technologie

Die Aussage eines Ausstellers „**mobiles GIS oder LBS** macht ja hier jeder irgendwie“ beschreibt die Situation auf der diesjährigen INTERGEO ziemlich treffend. Viele Anbieter haben inzwischen mobile Lösungen im Programm, und zwar sowohl Basistechnologie als auch spezifische Lösungen. Anwendungsbeispiele für mobile GIS wurden vor allem aus den Bereichen der Energieversorger, Katastervermessung, Naturschutz, Land- und Forstwirtschaft gezeigt. Auffällig war die mehrmals präsentierte Kopplung von mobilem GIS mit einem Navigationssystem im Bereich des Fahrzeug-, Flotten- und Workforcemanagements, sowie der Trend zum internetbasierten Daten- und Informationsaustausch auf Basis von Mobilfunk oder WLAN.

Mit **Interoperabilität** und **OGC-Konformität** warben die großen GIS-Hersteller mit einer Ausnahme kaum, obwohl diese mittlerweile einige OGC-Spezifikationen unterstützen (v. a. Web Map Service, Web Feature Service und Geography Markup Language). Die führenden Herstellern unterstützen die Spezifikationen nicht mehr nur über Add-Ons oder Adapter, sondern integrieren diese direkt in die Standardprodukte – sowohl auf Server- als auch auf Clientseite. OGC-Standards werden sich damit auf breiter Front durchsetzen. Ein ähnlicher Trend kann für die Normen der ISO nicht be-

obachtet werden, die abgesehen von der Metadatennorm und dem AFIS-ALKIS-ATKIS Konzept der AdV, kein Thema auf der Messe waren. Die Messe zeigte auch die unterschiedlichen Facetten der Interoperabilität. Während die OGC-Spezifikationen WMS und WFS durch die Verwendung der Internettechnologie für die Vernetzung verteilter, heterogener Geodatenbanken über die Grenzen von Organisationen hinweg prädestiniert sind, stellen vier GIS-Hersteller eine Interoperabilitätsinitiative vor, die auf die Nutzung einer zentralen Geodatenbank durch unterschiedliche Herstellersysteme und Anwendungen innerhalb einer Organisation (Unternehmen, große Kommune) setzt. Aussteller beurteilten das Interesse der Kunden an OGC-konformen Produkten zwar als eher gering, gaben aber an, dass die OGC-Konformität mittlerweile bei fast jeder Ausschreibung der öffentlichen Hand zu erfüllen ist.

GIS-Anwendungen

Zum Thema GIS-Anwendungen wurden besonders **GIS im Tourismus** (fast keine Lösungen vorgestellt) und **GIS im e-Government** untersucht. E-Government hat sich inzwischen durch staatliche Förderung zu einem Trend entwickelt, den sich jeder gerne auf die Fahne schreibt. Statt wirklicher Innovationen wurden jedoch eher kommunale GIS-Lösungen und Fachschalen (v.a. Web-Lösungen) vorgestellt, wie man sie schon seit langem kennt. Die Beobachtungen zum Thema **3D-GIS** decken sich weitgehend mit denen der letzten Jahre. Wie auch in den letzten Jahren waren auf den Ständen vieler Firmen aufwändige, zum Teil interaktive 3D-Darstellungen von Geodaten als Blickfang zu bewundern. Dabei kamen Stereotechniken aber auch der erste 3D LCD zum Einsatz. Kritisch betrachtet beschränkte sich 3D auf der diesjährigen INTERGEO jedoch hauptsächlich auf die Präsentation virtueller Geodatenwelten (3D-Stadtmodelle, etc.), sowie der dreidimensionalen Datengewinnung. Wirkliche 3D GIS-Anwendungen, Einsatzmöglichkeiten für 3D-GIS, sowie deren Potenziale wurden nicht vorgestellt.

Geodateninfrastrukturen

„Geodateninfrastruktur“ (GDI) war ein weiterer vielzitatierter Begriff auf der diesjährigen INTERGEO, dem sich viele Aussteller und Vorträge widmeten. Das Center for Geoinformation (CeGI GmbH) bot sogar eine „Tour de GDI“ zu den Ständen von 18 CeGI-Mitgliedern an, um v.a. auf die Initiative „Geodateninfrastruktur Nordrhein-Westfalen“ aufmerksam zu machen. Die auf der INTERGEO vertretenen Initiativen unterscheiden sich in ihren Ansätzen und Verständnissen des Begriffes GDI. Allen Initiativen gemein ist der Einsatz internationaler Normen und Standards, von denen aber v.a. bei Metadaten oft auf regionaler oder fachlicher Ebene Profile abgeleitet werden. Vielen Initiativen fehlen Datenanbieter, Anwender, sowie Dienstleister für die Erschließung neuer Anwendergruppen von GIS-Technologie und Geodaten, so dass die Initiativen kaum über Daten- und Dienstekataloge, sowie deren pilothafte Nutzung hinausgehen. Der Nutzen von GDI kann so nicht ausreichend dargestellt werden, was den Aufbau derartiger Infrastrukturen langfristig (finanziell) sichern könnte. Die Messe zeigte, dass das Interesse von GIS-Branche und (potenziellen) Anwendern an GDI und auch die Technologie jedenfalls vorhanden sind.

Resümee

„Wissen für die Erde“ – neues Wissen auch für die Besucher der INTERGEO 2003?

Auch wenn die Antwort auf diese Frage „keine großen Neuigkeiten“ lautet, so bot die INTERGEO 2003 doch einen umfassenden und interessanten Überblick zu den Themen Geodäsie, Geoinformation und (mit Abstrichen) Landmanagement – sowohl über den aktuellen Stand der Technik als auch über aktuelle Anwendungen der Technologien. Wirkliche Visionen für den GIS-Bereich fehlen jedoch, und kreatives Potenzial ist auf der Messe auch in diesem Jahr kaum zu spüren gewesen. Beides ist vor allem mit der Konzentration der Firmen auf ihr Kerngeschäft und der auftragsbezogenen Arbeit zu begründen, die die Technolo-

gie in den Hintergrund treten lassen. Im Mittelpunkt der Präsentationen der führenden Hersteller standen oft bewährte Lösungen und Anwendungsbeispiele für die Zielmärkte der Firmen, wie Kommunen und Energieversorger – auch wenn in diesem Bericht eher die Technologie im Vordergrund steht. Die diesjährige INTERGEO zeigte alles in allem wieder einmal, dass Innovationen im GIS Bereich einfach nicht im deutschsprachigen Raum gemacht werden.

Die nächste INTERGEO wird von 13.–15. 10. 2004 in Stuttgart unter dem Motto „Für mobile Menschen“ stattfinden.

J. CZAJA, A. DONAUBAUER, M. GEIER,
A. HUBER, K. JAENICKE, T. KUNKEL,
A. MATHEUS, S. NEUMEIER und
S. SCHEUGENPFLUG
Runder Tisch GIS e.V.
Technische Universität München
Arcisstraße 21, 80290 München
e-mail: runder-tisch@bv.tum.de

75 Jahre Schweizerische Gesellschaft für Photogrammetrie, Bildanalyse und Fernerkundung (SGPBF)

Festveranstaltung am 22. September 2003 in Zürich

Auf den Tag genau 75 Jahre zuvor war am 22. September 1928 auf der Gründungsverammlung mit 29 Interessenten die Schweizerische Gesellschaft für Photogrammetrie ins Leben gerufen worden. In interessanter Parallele zur Gründung der DGPF 1909 in Jena geschah dieses in Zürich ebenfalls im Anschluss an einen photogrammetrischen Sommerkurs. Der anschließenden schwungvollen Vergrößerung der SGP folgte bald auch internationale Anerkennung als 7. Mitglied der ISP und die Ausrichtung des 3. ISP-Kongresses 1930 in Zürich.

Die Lebendigkeit dieser Tradition zeigte sich am 22. September 2003 in Zürich bei einer international besetzten Festveranstaltung, die der Präsident der SGPBF, Prof. ARMIN GRÜN von der ETH Zürich, eröffnete. Dem Anlass angemessen war dann auch die lange Liste der Jubiläumsgratulanten: Prof. JOHN TRINDER überbrachte die Glückwünsche der ISPRS. Es folgten Dr. KLAUS-ULRICH KOMP für die DGPF, Dipl.-Ing. GERHARD MUGGENHUBER für die Österreichische Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation (OVG), Prof. SHUNJI MURAI für die Japanische Fernerkundungs-Gesellschaft, Prof. D. LI für die Chinesische Photogrammetrie-Gesellschaft, Prof. ORHAN M. ALTAN für die Türkische Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, E. GABLER für Swisstopo, J.



KAUFMANN für Geosuisse und Dr. H. HESS für Leica Geosystems. Aus allen Beiträgen war die hohe wissenschaftliche Wertschätzung für die Schweizerische Gesellschaft und die langjährigen intensiven internationalen Beziehungen zu entnehmen.

Eingebettet in die Jubiläumsfeier war die Verleihung von drei Ehrenmitgliedschaften, mit denen das langjährige Engagement für die Ziele der SGPBF gewürdigt wurde (Foto). Prof. GRÜN (2. v. rechts) überreichte mit der jeweiligen Laudatio die Urkunden an Dipl.-Ing. CHRISTOPH EIDENBENZ, Dipl.-Ing. ANDRÉ FLOTRON und Prof. Dr.-Ing. OTTO KÖLBL (v. links), übrigens alles ehemalige Präsidenten der SGPBF.

Die festliche Veranstaltung wurde dann mit drei Vorträgen fortgesetzt: ALAIN CHAPUIS (Leica Geosystem) referierte über die andauernde Erfolgsgeschichte der Photogrammetrie-Entwicklung in der Schweiz in französischer Sprache und ging insbesondere auf die Entwicklung photogrammetrischer Geräte ein. Er stellte mit beeindruckenden Produktionszahlen auch die unterschiedliche Akzeptanz verschiedener Auswertegeräte dar, verschwieg allerdings auch nicht diejenigen Entwicklungen, die über wenige Prototypen nicht hinausgekommen sind. Stärker auf die Entwicklung der Schweizerischen Gesellschaft war dann der Vortrag von CHRISTOPH EIDENBENZ (Swisstopo) gerichtet, der in seinem Rückblick besonders einzelne Persönlichkeiten herausstellte, die der SGP und später der SGPBF durch ihre Fachkompetenz und ihr langjähriges Engagement Profil und Richtung gegeben haben. Mit den Zukunftsperspektiven für Photogrammetrie und Fernerkundung rundete ARMIN GRÜN (ETH Zürich) den Vortragsblock der Festveranstaltung ab. Dankenswerterweise sind die drei Festvorträge einschließlich vieler tabellarischer Aufstellungen zur Entwicklungsgeschichte in Heft 9/2003 der *Geomatik Schweiz* abgedruckt, das es als thematisches Schwerpunktheft zum 75. jährigen Jubiläum der SGPBF dem Interessierten ermöglicht, die wichtigsten Fakten nachzulesen, allerdings unter Verzicht auf den festlichen Rahmen in der internationalen Gemeinschaft der

Fachkollegen. Basierend auf der Tatsache, dass nur diejenigen Zukunft haben können, die eine Geschichte haben, wurde für die Diskussion der Zukunft der Geomatik die Form der Podiumsdiskussion mit Vertretern aus Forschung, Entwicklung und Praxis gewählt.

Unter der Moderation von A. GRÜN diskutierten auf dem Podium O. KÖLBL (EPF Lausanne), St. NEBIKER (FH Basel), E. GUBLER (Swisstopo), J. KAUFMANN (Geosuisse), H. HESS (Leica Geosystems), K.-U. KOMP (DGPF), G. MUGGENHUBER (OVG) und Th. GRÜNENFELDER (Swissphoto) unter Einbeziehung der Beiträge aus dem Publikum die Perspektiven für zukünftige Dienstleistungen, Märkte und die dafür notwendigen Neuorientierungen schulischer und universitärer Ausbildung.

Den abschließenden Höhepunkt der Jubiläumsveranstaltung bildete eine gemeinsame Fahrt nach Lauffen zu einem „Ritterschlossfäscht“ in dem historischen Ambiente des Schlossrestaurants Lauffen. Präsident GRÜN hob in seiner Tischrede noch einmal die tragende Bedeutung der SGPBF zur Bündelung photogrammetrischer Aktivitäten in den vergangenen 75 Jahren und in der Zukunft unter der umfassenden Zielrichtung der „Geomatik“ hervor. Der besondere Clou war jedoch vor dem Dessert der mit Fackeln geführte Spaziergang hinunter zum unterhalb des Schlosses liegenden Rheinfluss, der mit seiner beleuchteten Wand aus herabstürzendem Wasser in fast greifbarer Nähe der Aussichtskanzel der Festveranstaltung einen grandiosen Schlusspunkt setzte.

KLAUS-ULRICH KOMP, Münster

International Workshop “High Resolution Mapping from Space”

6. bis 8. Oktober 2003 in Hannover

Dieser Workshop war der vierte seiner Art in einer Reihe von Workshops, die 1997 startete. In diesem Jahr war er eine gemeinsame ISPRS/EARSel Veranstaltung. Die beteiligten ISPRS-Working Groups waren: WG I/2 (sensor calibration), WG I/5 (platform and

sensor integration) und die IC WG II/IV (geo-spatial data production). Von EARSeL war die Special Interest Group *3D Remote Sensing* beteiligt. Insgesamt nahmen 76 registrierte Teilnehmer aus 21 verschiedenen Ländern (aus Europa, Asien, Nordamerika und Australien) teil. Das Programm der drei sehr intensiven Tage umfasste nahezu 50 Beiträge.

Überblick

Die Veranstaltung war ein sehr interessanter und nützlicher Workshop mit einer Reihe von hochwertigen Beiträgen. Die Themen reichten von der Merkmalsextraktion auf der Marsoberfläche bis zur Produktion von DHM und Orthophotos der gesamten Erde. Durch die beteiligten Arbeitsgruppen waren natürlich die Themen vorgegeben: eine ganze Reihe von Beiträgen untersuchte die Prozessierung von Satellitenbilddaten im Hinblick darauf, die bestmögliche geometrische Genauigkeit zu erzielen. Weiterhin beschäftigten sich Beiträge mit neuen Sensoren und neuen Anwendungen für bereits vorhandene Systeme. Das Angebot der Informationen war so breit, dass auch für Experten auf dem Stand der Technik noch interessantes Neues dabei war. Aufgrund der hohen Qualität der Beiträge ergaben sich interessante und lebhaft Diskussionen zwischen den Teilnehmern auch während der Kaffeepausen – in einem von den Veranstaltern perfekt vorbereiteten Rahmen.

Plenarsitzung

Der erste Tag des Workshops startete mit einer Plenarsitzung. Nach den Grußadressen hielt Prof. EBERHARD PARLOW, Vorsitzender der *European Association of Remote Sensing Laboratories* (EARSeL) einen kurzen Vortrag. Er kritisierte die ESA, die die Entwicklungen im Bereich der hoch auflösenden Satelliten gegenüber globaler Fernerkundung ignoriert habe. Einen Grund hierfür sah er darin, dass die Entscheidungsträger der ESA überproportional durch GMES (Global Monitoring for Environment and Security) beeinflusst seien –

zum Nachteil von eher lokal operierenden Disziplinen wie Photogrammetrie, Kartographie oder Forstwissenschaft.

In einem einleitenden Vortrag *Current Developments and Future Trends in Imaging and Mapping from Space* gab Prof. GORDON PETRIE, Universität Glasgow – in Fachkreisen bekannt für sein Wissen über zivile und militärische Satellitensensoren – einen hervorragenden Überblick. Er diskutierte die Möglichkeiten der gegenwärtigen hoch auflösenden Fernerkundungssatelliten, die es in vielen Ländern auf der gesamten Welt gibt. Einige interessante Punkte seines Vortrages sind hier kurz zusammengefasst:

Für die nächsten Jahre werden sich die USA stark auf kommerzielle Satellitensysteme wie QuickBird und IKONOS stützen. Für Aufsehen hat der kürzlich erfolgte Vertragsabschluss mit einem potentiellen Volumen von 500 Millionen US\$ mit Digital Globe (QuickBird) innerhalb des militärischen Programmes „NextView“ der USA gesorgt. Ohne die finanzielle Unterstützung durch die US Regierung erscheint es unklar, wie SpaceImaging und OrbImage ihre Stellung sichern. OrbImage ist erst kürzlich dem US „bankruptcy protection status“ entronnen, während SpaceImaging ihre ursprünglichen Geldgeber Lockheed Martin and Raytheon verloren haben. Während dessen haben eine ganze Reihe von Staaten bereits hoch auflösende Satellitensysteme gestartet oder planen dies zu tun. Zu diesen Staaten gehören Israel, Südkorea, Japan, Indien, Taiwan und Frankreich. Die meisten Satelliten sind entweder für rein militärische oder duale Anwendungen vorgesehen, d. h. für militärische und zivile. Die weitere Entwicklung bleibt abzuwarten. Die Erfahrung hat gezeigt, dass oftmals Daten von Satelliten für duale Anwendungen dann doch nicht frei auf dem Markt verfügbar waren.

Sensor Modelle

Eine Reihe von Beiträgen behandelte die Prozessierung der rohen Satellitendaten. Die Themen umfassten die Nutzung von automatischen Systemen (auf der Basis von Sternverfolgern, GPS und INS), Systeme-

men mit strengen Sensormodellen und Systemen, die rationale Funktionen und die damit verbundenen rationalen Polynomkoeffizienten (*rational polynomial coefficients*, RPC) einsetzen. RPC können zum Teil direkt von den Datenanbietern bezogen – dann sind sie i. Allg. aus einem Sensormodell abgeleitet – oder über Passpunkte bestimmt werden. Fast alle Beiträge präsentierten Ergebnisse, die eine geometrische Genauigkeit von 1 m pro Pixel aufwiesen. Von einem pragmatischen Standpunkt aus gesehen erscheint es daher nicht von großer Bedeutung zu sein, welches Verfahren eingesetzt wird, da die meisten Nutzer zuerst einmal die Daten in ihrem System haben wollen. Probleme kann es natürlich bereiten, wenn Nutzer sich nicht mit diesen Fragestellungen auskennen – z. B. die Koeffizienten selbst bestimmt haben, jedoch auf der Basis von nur wenigen, schlechten oder ungünstig verteilten Passpunkten. Dieses Thema wurde auch von einigen Autoren diskutiert. Hierbei wurde darauf hingewiesen, dass eingesetzte kommerzielle Software oftmals keinen Hinweis auf solche Probleme gibt.

Neue und geplante Satelliten

Weitere Beiträge beschäftigten sich mit dem operationellen Status von IKONOS und QuickBird mit besonderem Fokus auf Europa. KLAUS REINIGER (DFD) gab einen Einblick in eine interessante Statistik: 95 % der Kunden von SpaceImaging Europa nutzen das pan-geschärfte Geo-Produkt. Weiterhin wurden die einzelnen Abdeckungsbereiche einer Szene der beiden Satelliten verglichen: QuickBird liefert eine größere Abdeckung, IKONOS kann jedoch mehrere Streifen während eines Überflugs erfassen und damit insgesamt wiederum eine größere Fläche. Welche dieser beiden Methoden im Hinblick auf die Datengewinnung für große Bereiche am effektivsten ist, hängt sicherlich auch von der jeweiligen Anwendung ab. Neben den beiden erwähnten Satellitensystemen ist eine Vielzahl von weiteren Systemen geplant, worauf bereits Prof. PETRIE eingegangen war. ALAIN BOUDOIN (CNES) stellte einen ehrgeizigen Plan vor, der die Bereitstel-

lung von Orthobildern mit 5 m-Auflösung und weltweiter Abdeckung vorsieht. Gleichzeitig soll ein DHM mit einer Rasterauflösung von 30 m, basierend auf stereoskopischen Daten von SPOT5 als Grundlage dafür generiert werden. Es wurden bereits 42 Mio. Quadratkilometer wolkenfreier Bilddaten erfasst, die jetzt prozessiert werden. Weiterhin wurde herausgestellt, dass die hochgesteckten Spezifikationen ohne die Nutzung von Passpunkten erreicht werden sollen. Ein Projekt in Zusammenarbeit mit der ISPRS, die Qualität und Genauigkeit der generierten Daten zu überprüfen, wurde bereits auf den Weg gebracht. Erste Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden von PETER REINARTZ (DLR) vorgestellt, die endgültigen Ergebnisse sollen nach Ablauf des Projekts in der ersten Hälfte des Jahres 2004 veröffentlicht werden.

Während sich in Frankreich die Arbeiten im Bereich Sensorik auf optische Bilddaten (SPOT) konzentriert, liegt der Schwerpunkt in Deutschland auf dem Gebiet des Einsatzes von Radar. Das DLR prozessiert die Daten der Space Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), die schlussendlich mit einer Auflösung von 30 m und einer Höhen-genauigkeit von 18 m einen Großteil der Erdoberfläche – leider jedoch nur in Streifen mit Zwischenräumen – abdecken wird. Die Prozessierung ist fast abgeschlossen und die Daten werden voraussichtlich im Frühjahr 2004 zur Verfügung stehen. RICHARD BAMLER (DLR) gab einen Übersichtsvortrag über dieses Programm und über die nächste Generation von SAR-Satelliten. Das DLR ist an den Systemen TerraSAR-X und SAR-Lupe beteiligt, die eine Auflösung von 1 m erzielen sollen. Der Start ist ab 2005 geplant. Obwohl beide Systeme nicht speziell für die Erfassung topographischer Daten geplant sind, ist zu erwarten, dass beide sich auch für diesen Zweck eignen. Das DLR stellte ferner ein neues Konzept von „Parasiten-Satelliten“ vor, die auf leicht unterschiedlichen Bahnen sich gegenseitig verfolgen und damit eine Mehrfachbeobachtung einer Fläche erlauben. Eine weitere Anwendung von SAR-Daten wurde von NICO ADAM (DLR) vorgestellt: die Beobachtung von permanenten

Scatteren, die in einer Folge von SAR-Bildern über eine längere Zeit zu beobachten sind, und hieraus die Ableitung von Bewegungen der Objekte, insbesondere zur Bestimmung von Setzungen. VOLKER SPRECKELS (DSK) behandelte in seinem Beitrag ebenfalls das Thema der Bestimmung von Setzungen am Beispiel des Bergbaubereiches des nördlichen Ruhrgebietes basierend auf unterschiedlichen Datensätzen: DHM generiert aus Luftbildern, Laserscanning- und Radardaten. Sein Vortrag fasste die vielen praktischen Probleme eines Vergleiches unterschiedlicher Datensätze zusammen.

Aktuelle und bevorstehende Anwendungen

Bis zum heutigen Zeitpunkt waren die meisten bekannten Anwendungen hoch auflösender Satellitendaten vor allem militärischer Art oder aber nur auf kleinere Bereiche beschränkt. Während des Workshops wurden nun zivile Projekte vorgestellt, die sehr große Flächen abdecken. Zu diesen Projekten gehörten die Kartierung einer Fläche von 100.000 Quadratkilometer in Saudi-Arabien auf der Basis von IKONOS und QuickBird-Daten, die Bereitstellung von Orthobildern aus IKONOS-Daten für großer Bereiche Polens (50.000 Quadratkilometer) und eines Projektes aus Flandern (13.000 Quadratkilometer), wiederum auf der Grundlage von IKONOS-Daten. Diese Projekte sind noch nicht gänzlich abgeschlossen, z.T. auch noch in der Planung. Die Satellitendaten dienen hierbei teilweise als zusätzliche Informationsquelle, teilweise als alleinige. Mit Spannung darf man den endgültigen Ergebnissen dieser Projekte in den nächsten Monaten entgegen sehen.

Objekterfassung und Datenfusion

Ein weiterer Themenpunkt befasste sich mit der Objektextraktion aus IKONOS und QuickBird-Daten. In der Vergangenheit basierten die meisten Ansätze zur Objekterfassung auf höher aufgelösten Luftbilddaten (z. B. 20–25 cm) oder auf Daten niedrigerer Auflösung (z. B. 10 m SPOT). UWE BACHER

(Universität der Bundeswehr) stellte Fuzzy-Klassifikation in Verbindung mit Ziplock Snakes zur Extraktion von Straßensegmenten aus den multispektralen Kanälen (R, G, B, IR) der IKONOS-Daten vor, die anschließend automatisch verknüpft wurden. Der vollständig automatische Prozess zeigte ein vielversprechendes Ergebnis. SIDHARTA GAUTAMA (Universität Gent) beschäftigte sich in seinem Beitrag mit der Technik des „Continuous Relaxation Labeling“ zum Vergleich eines Straßennetzwerkes aus Satellitendaten mit der in einem GIS vorhandenen Information auf der Grundlage der zugehörigen Graphen. Datenfusion spielte bei den Beiträgen keine vordringliche Rolle. In diesem Zusammenhang ist jedoch die Präsentation von JOHN TRINDER (University of New South Wales) zu nennen, der die Arbeiten von YI HUI LU vorstellte: automatische Gebäudedetektion auf der Grundlage eines Digitalen Oberflächenmodells und multispektralen IKONOS-Daten durch Klassifikation. Einen ganz anderen, aber nicht weniger interessanten Aspekt beleuchtete MARCO NEUBERT (Universität Dresden): Er zeigte die Ergebnisse eines Vergleiches verschiedener Softwarepakete zur Segmentierung am Beispiel von IKONOS-Daten. Die einzelnen Ergebnisse unterschieden sich nicht unerheblich voneinander.

Verschiedenes – Mars, Shape from Shading, ...

Aufgrund der aktuellen Mars-Mission gab es auch Beiträge zu diesem Themenbereich. Ein großes Problem aller Mars-Projekte liegt natürlich in der geringen Dichte von Passpunkten oder der Nichtverfügbarkeit von hier auf der Erde selbstverständlichen Techniken, wie z. B. GPS. Die Landung des ersten Vermessers mit einer Totalstation und mit Messband auf dem Mars wird sicherlich noch einige Zeit auf sich warten lassen. Ein Themenbereich, der Mars und Erde aber etwas näher zusammenrücken lässt, ist „Shape from Shading“ zur Bestimmung von DHM durch Ausnutzung der Beziehung zwischen den Grauwerten und der Inklinatation in Bezug zur Beleuchtungsrichtung.

Diese Technik wurde von NOAM LEVIN (Universität Tel Aviv) in Wüstenregionen auf der Erde und von VOLKER LOHSE (Universität Hannover) für Bereiche des Mondes angewendet und wird sicherlich auch für die Auswertung von Bilddaten der Marsoberfläche zum Einsatz kommen. Das europäische Mars Express Programm war durch Beiträge von RALPH SCHMIDT (Universität Hannover) und MICHAEL SPIEGEL (TU München) vertreten, die sich mit der automatischen Bestimmung von Verknüpfungspunkten und der Bestimmung der Parameter der Äußeren Orientierung – auch unter Berücksichtigung des bestehenden Marsoberflächenmodells – beschäftigten.

Zusammenfassung

Insgesamt ist zu sagen, dass der Workshop viele Themen bezüglich hoch auflösender Satellitenbilddaten und ihrer Anwendungen umfasste. Verbleibt zum Schluss noch den Organisatoren für die hervorragende Vorbereitung und die Gastfreundschaft zu danken. Sie schlossen die drei intensiven und informativen Tage mit dem Satz „... and now to close the meeting we will each have a glass of beer“. Bleibt zu hoffen, dass man einen solchen Satz noch häufiger nach so einer gelungenen Veranstaltung hören darf.

DAVID HOLLAND, Ordnance Survey, UK
UWE WEIDNER, Universität Karlsruhe

ISPRS/ EuroSDR Workshop „3-D Reconstruction from Airborne Laserscanner and InSAR Data“

8. bis 10. Oktober 2003, Dresden

Der Workshop fand an der TU Dresden statt. Er wurde gemeinsam von der ISPRS Kommission III, Arbeitsgruppe 3 (HANS-GERD MAAS, GEORGE VOSSELMAN) und der Kommission I der EuroSDR (ANDRE STREILEIN) ausgerichtet. Die Qualität der Beiträge wurde durch eine zweifache anonyme Begutachtung der Arbeiten sichergestellt. Die Veranstalter wählten aus den eingereichten Arbeiten insgesamt 25 Vorträge und 12 Pos-

ter aus. Das Interesse, gemessen an der Zahl der Teilnehmer, an dieser Veranstaltung zeigte die hohe Aktualität und den Stellenwert der Arbeiten in diesem Forschungs- und Entwicklungsbereich: 110 Teilnehmer aus 20 unterschiedlichen Ländern sorgten für internationales Flair in Dresden. Die Veranstaltung wurde ergänzt durch eine Ausstellung von 10 Firmen aus dem Dienstleistungs- und Herstellerbereich.

Das Programm bestand aus 8 Sitzungen unterschiedlicher Thematik und einer Postersession. Eingeleitet wurde die Veranstaltung durch eine Begrüßung der Veranstalter und eine einleitende Rede von JOHN TRINDER, dem Präsidenten der ISPRS. Die Fachbeiträge in den Sitzungen zur Genauigkeitsanalyse, Waldinventur, Streifenausgleichung und Kalibrierung, Filterung, Gebäuderekonstruktion, zu digitalen Höhenmodellen, Forstwirtschaft, Datenfusion, und Kartenherstellung zeigten die große Breite in der Anwendbarkeit der von Laserscannern und InSAR gewonnenen Daten. Hervorheben möchte ich die Beiträge von ROLF KATZENBEIßER über die technischen Randbedingungen bei der Kalibrierung von Laserscannern und den Beitrag von GEORGE SITHOLE und GEORGE VOSSELMAN über einen von ihnen durchgeführten Vergleich unterschiedlicher Filteralgorithmen mit Beteiligung vieler Wissenschaftler (siehe <http://www.geo.tudelft.nl/frs/isprs/filtertest/>). Details zu allen Beiträgen können dem Tagungsband, der als Band XXXIV 3/W13 in gedruckter Form und als CD den Teilnehmern zu Beginn der Veranstaltung übergeben wurden, entnommen werden. Noch während der Konferenz wurde der Band auch auf den Internet Seiten der ISPRS zur Verfügung gestellt (<http://www.isprs.org/commission3/wg3/workshop—laserscanning/>).

Das wissenschaftliche Programm wurde ergänzt durch eine Reihe von abendlichen Rahmenveranstaltungen, die reichlich Gelegenheit zur vertieften Diskussion und Kontaktaufnahme boten. Dazu zählte ein gemeinsames Abendessen in einem regional typischen Lokal, eine Party, veranstaltet durch die Firmenaussteller, und eine kundi-

ge Führung durch die Altstadt Dresdens durch ALEXANDRA HOFMANN, die mit einem langen Disput über die automatische Extraktion von Gebäuden aus Laserscannerdaten endete. Am Tag nach dem Workshop boten die Veranstalter eine Wandertour durch die idyllische Landschaft der Sächsischen Schweiz an. Eine Gelegenheit zur körperlichen und geistigen Entspannung, die von etwa 30 Teilnehmern ergriffen wurde. Den Veranstaltern kann für die fachlich hervorragende, kollegiale und kulturell abwechslungsreiche Veranstaltung nur gratuliert werden.

PETER LOHMANN und BERND-M. STRAUB,
Hannover

Russisches Kataster wird mit modernster Technik ausgerüstet

Das Russische Forschungsinstitut für Kataster VISKHAGI in Moskau wird gegenwärtig mit modernster Luftbildaufnahme und -Auswertetechnik ausgerüstet.

Im Rahmen des Projektes LARIS (Land Registration Implementation Support), das 1996 mit Unterstützung durch die Weltbank und die Schweizer Regierung begonnen wurde, sollen hauptsächlich digitale Bilddaten von Städten und besiedelten Gebieten gewonnen werden für die Produktion von Orthophotokarten. Ziel ist der Aufbau einer Katasterverwaltung für Russland mit einem detaillierten Register der Eigentumsverhältnisse und der Lage und Größe der Landflächen. In der Zeit der Existenz der Sowjet-

union gab es kein Eigentum an Grund und Boden in Russland.

Das LARIS-Projekt besteht aus 6 Paketen:

1. Luftbild-Aufnahmetechnik
2. Fotolabor-Technik
3. Feldvermessungsgeräte
4. GPS-Technik für die Feldvermessung
5. Computer-gestützte Technik für die Herstellung von Katasterkarten
6. Hardware und Software für die automatisierte Registrierung von Grundstücken

Seit 1996 ist Leica Geosystems Hauptlieferant von Geräten und Verfahren für dieses Projekt. Dazu gehörten: 8 Luftbildfilmkameras RC30 mit Steuereinrichtungen ASCOT.

Im Jahre 2002 wurde der Einsatz der Digitalen Zeilenkamera ADS40 für diese Aufgabe intensiv geprüft. Das russische „State Committee for Standardization and Metrology“ (Gosstandard or GOST) führte diesen Test durch. VISKHAGI bestellte im Ergebnis der Prüfung zwei Systeme ADS40 mit 12 TB Gesamtspeicherkapazität, zwei *download stations* und 10 *photogrammetric processing stations*. Schwierig war noch der Import der zur ADS40 gehörenden IMU-Anlagen aus USA nach Russland. Aber auch das Problem konnte gelöst werden.

Die Lieferung der Ausrüstungen, die Installation und die Ausbildung des Personals konnten im August 2003 abgeschlossen werden.

Quelle: Leica Geosystems Informationsmaterial vom 13.10. 2003

Persönliches

Laudatio für Prof. Dr.-Ing. HEINRICH EBNER

anlässlich der Verleihung der Ehrendoktorwürde durch die Universität Hannover am 27. Oktober 2003



Es freut mich ganz besonders, dass wir heute die Ehrenpromotion von Herrn Prof. HEINRICH EBNER von der Technischen Universität München begehen und feiern können, die alle Professoren der Hannoveraner Fachrichtung Vermessungswesen gemeinsam auf den Weg gebracht haben. Ich werde den Lebens- und vor allem den Berufsweg von HEINRICH EBNER in Ansätzen nachzeichnen und versuchen klarzumachen, WARUM wir hier heute versammelt sind.

Damit ist ein entscheidendes Wort bereits gefallen: WARUM. Die kindliche WARUM-Frage steht ja bekanntlich am Beginn jeder Wissenschaft, und wer HEINRICH EBNER kennt, weiß, dass er sie immer wieder stellt. Von Erich Kästner ist dazu überliefert: „Nur wer erwachsen wird und Kind bleibt, ist ein Mensch“. Das ist wohl etwas übertrieben, aber eine Botschaft beinhaltet diese

Aussage allemal: Erwachsene und insbesondere Wissenschaftler tun gut daran, sich ihre kindliche Unbefangenheit, Phantasie und Neugier zu bewahren.

Eine Ehrenpromotion ist die wichtigste wissenschaftliche Auszeichnung, die eine Universität vergeben kann. Ehrenpromotionen sind selten, und so soll es auch sein, denn mit Inflationen jedweder Art war noch nie Staat zu machen. Was das Vermessungswesen an der Universität Hannover angeht, so steht HEINRICH EBNER damit in einer Reihe mit ERWIN GIGAS (1953), PIERRE LEJAY (1956), WILLEM SCHERMERHORN (1967), FRED DOYLE (1976), KARL RINNER (1981), WERNER WITT (1981), TAUNO KUKKAMÄKI (1987) und FRIEDRICH ACKERMANN (1995). Auch ALBRECHT MEYDENBAUER, der 1867 den Begriff „Photogrammetrie“ geprägt hat, zählt zu unseren Ehrendoktoren, und zwar seit 1908. Die Ehrung zum Dr.-Ing. e. h. wurde ihm von der damaligen Fakultät für Architektur verliehen.

Nach dieser kurzen Einführung komme ich zu HEINRICH EBNER selber: 1939 in Wien geboren, studierte er nach der Schule bis 1959 zunächst Tiefbau an der Ingenieurschule in Wien, bevor er sich von 1959 bis 1964 dem Studium der Geodäsie an der damals wie heute sehr angesehenen Technischen Universität Wien widmete. Zu seinen Lehrern gehörten u. a. die Professoren HAUER, LEDERSTEGGER, und NEUMAIER, die weit über Österreich hinaus bekannt waren. Nach Studienabschluss ging EBNER zur Firma Carl Zeiss nach Oberkochen, er wanderte also aus, und das noch zu den „Piefkes“. Wie gut er den schwäbischen Dialekt damals verstand, hat er mir nie erzählt, wahrscheinlich ging es ihm anfangs ähnlich wie uns Norddeutschen, wenn wir versuchen, uns in Süddeutschland verständlich zu machen:

wir fangen sehr bald an, mit unseren Landsleuten zwecks besserer Kommunikation Englisch zu sprechen . . .

Die Zeit bei Zeiss war für HEINRICH EBNER prägend, wie er immer wieder betont hat, denn in den gut zwei Jahren lernte er neben Schwäbisch auch, die Fragen und Wünsche der Praxis für die wissenschaftliche Arbeit zu berücksichtigen. Diese Fähigkeit hat er sich sein gesamtes Berufsleben lang erhalten, ebenso wie die Verbindung zu Carl Zeiss selber.

Im deutschen Ausland hat es EBNER wohl recht gut gefallen – zumindest hat er gelernt, dort zu leben, sonst hätte er kaum ein Angebot von Prof. ACKERMANN angenommen, Anfang 1967 an das Institut für Photogrammetrie nach Stuttgart zu kommen. Stuttgart war zu dieser Zeit ein internationales Zentrum der Photogrammetrie, in dem durch die Entwicklung der Aerotriangulation ein entscheidender Durchbruch gelang. HEINRICH EBNER war nach seiner Promotion 1969 der Kopf dieser Gruppe. Er arbeitet nicht nur theoretisch, sondern sorgte auch für die Umsetzung der neuen Theorien in heute noch verwendete Programmsysteme, genannt sei das Paket PAT-B. Diese Entwicklungen fanden in positivem Sinne im Wettstreit mit Arbeiten in Hannover statt, wo unter Prof. KONECNY ähnlich bahnbrechende Entwicklungen eingeleitet wurden, die in dem ebenfalls noch heute verwendeten Bündelausgleichungsprogramm BLUH von Dr. JACOBSEN mündeten. Diese Entwicklungen begründeten die bis heute andauernde, von gegenseitigem Respekt und zunehmender Freundschaft getragene Verbindung zwischen HEINRICH EBNER und der Universität Hannover.

Nach seiner Berufung als o. Professor an die Technische Universität München zum 1. 1. 1977 richtete HEINRICH EBNER seine Arbeiten konsequent auf neue, zukunftsweisende Gebiete aus. Zum einen war dies der Ausgleichungsansatz für die 3-Zeilen Geometrie. Diesen Ansatz entwickelte EBNER zusammen mit der Firma MBB (Messerschmidt-Bölkow-Blohm), die mit dem sogenannten Digitalen Photogrammetrischen Auswertesystem (DPA) einen flugzeugge-

tragenen Sensor entwickelte und später auch erfolgreich einsetzte, der auf der 3-Zeilen-geometrie beruhte. Später erweiterte EBNER den Ansatz für Anwendungen im Weltraum und sorgte mit seinen Mitarbeitern sowohl für die Umsetzung im Rahmen des amerikanischen Space Shuttle Experiments MOMS-02/D2, als auch im Rahmen der derzeit laufenden planetaren Mission Mars-Express. Sowohl an MOMS-02/D2 als auch an Mars Express waren bzw. sind auch Wissenschaftler der hiesigen Universität an entscheidender Stelle beteiligt. Diese Kooperation festigte so die hervorragenden Verbindungen zwischen HEINRICH EBNER und der Universität Hannover.

Ein anderes Gebiet, auf dem HEINRICH EBNER weltweit Maßstäbe setzte, sind die Digitalen Geländemodelle (DGM). Während ursprünglich v. a. Höhenlinien zur Repräsentation der Geländehöhen verwendet wurden, ermöglichte die Computertechnik seit ca. Mitte der 70er Jahre deren Darstellung in Form regelmäßiger Gitter (Raster). EBNER war entscheidend an der Einführung von DGM ins Vermessungswesen beteiligt. Wesentliche Beiträge zur Erfassung, Speicherung, Analyse und Visualisierung von DGM stammen aus seiner Feder. Durch die Umsetzung seiner Forschungen in das operationelle Programmpaket HIFI hatten seine Arbeiten wiederum auch Auswirkungen auf die Praxis.

Mit Aufkommen der digitalen Photogrammetrie Mitte der 80er Jahre erschloss EBNER auch dieses neue Gebiet für sich und seinen Lehrstuhl. Er gab wichtige Impulse zur automatischen Bildzuordnung, zur digitalen Orthoprojektion und – vor allem in den letzten Jahren – zur automatischen Bildinterpretation. Mit den von ihm initiierten Arbeiten zur automatischen Extraktion von Straßendaten aus digitalen Luftbildern hat EBNER seinen Lehrstuhl ein weiteres Mal weltweit an die Spitze geführt. Auch diese Arbeiten – eingebettet in das DFG-Bündelprojekt „Semantische Modellierung“ unter Leitung von WOLFGANG FÖRSTNER – fanden in Kooperation mit der Universität Hannover statt.

Auch in der wissenschaftlichen Ausbildung hat HEINRICH EBNER Hervorragendes

geleistet. Nicht weniger als sechs seiner Schüler sind heute als Professoren an wissenschaftlichen Hochschulen tätig. An dieser Stelle soll nicht unerwähnt bleiben, dass ich selber meine wissenschaftlichen Wurzeln inkl. Promotion und Habilitation in München habe. Eine solche Konstellation ist bekanntlich für Ehrenpromotionen nicht eben vorteilhaft, da ihr der Verdacht von Vetternwirtschaft anhaften könnte. Vor dem Hintergrund, dass seit 1992 – also seit über 10 Jahren – mit einer einzigen Ausnahme alle in Deutschland an wissenschaftliche Hochschulen berufenen Professoren für Photogrammetrie Schüler von HEINRICH EBNER waren, ist dies aber wohl die gut begründete Ausnahme, die zur Regel gehört wie das Bier zum Oktoberfest in München. Es sei angemerkt, dass eine ähnliche Situation in der Photogrammetrie schon einmal gegeben war. In der fünfziger und sechziger Jahren des letzten Jahrhunderts gingen ebenfalls fast alle deutschen Photogrammetrie – Professoren durch die Münchner Schule, ausgebildet von Prof. RICHARD FINSTERWALDER. Zu ihnen gehörte auch mein Vorgänger, Prof. KONECNY. Erwähnenswert daran ist, dass FINSTERWALDER vor seinem Ruf nach München jahrelang Photogrammetrie an der damaligen Technischen Hochschule Hannover lehrte. Auch diese Tatsache belegt die jahrzehntelange, enge Verbindung zwischen den beiden deutschen Hochschulstandorten der Photogrammetrie.

Die Summe von EBNERS Arbeiten stellt eine hervorragende, in Deutschland und im Ausland anerkannte wissenschaftliche Gesamtleistung im Bereich der Photogrammetrie dar. Dies haben natürlich auch Andere erkannt. HEINRICH EBNER hat in der Photogrammetrie viele Ämter auf nationaler und internationaler Ebene wahrgenommen oder sollte ich besser sagen wahrnehmen müssen, denn nach Ämtern hat er nie geschielt und sie auch nicht besonders gemocht. Erwähnen möchte ich an dieser Stelle nur seine Präsidentschaft der Kommission III „Theorie und Algorithmen“ der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung (ISPRS) von 1992 bis 1996. Insbesondere an das hochkarätige Sympo-

sium 1994 in München haben die meisten Teilnehmer noch die allerbesten Erinnerungen.

Daneben hat er eine Reihe von hochkarätigen Auszeichnungen empfangen. Die vielleicht bedeutendsten sind der *Otto von Gruber Preis*, der die weltweit wichtigste wissenschaftliche Anerkennung für Nachwuchswissenschaftler in der Photogrammetrie darstellt, nur alle vier Jahre vergeben wird und den EBNER 1972 erhielt, seine Mitgliedschaft in der Deutschen Geodätischen Kommission seit 1978, sowie die sehr angesehene *Friedrich-Hopfner-Medaille* der Österreichischen Geodätischen Kommission 1998.

Wichtiger als diese persönlichen Auszeichnungen war ihm aber immer der Erfolg des Lehrstuhls an der TU München. Da kommen weitere drei „Otto von Gruber Preise“ hinzu, zwei „Talbert Abrams Preise“ der Amerikanischen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, der „Duane C. Brown Preis“ der Ohio State University, der „Gerhard Eichhorn Preis“ des Deutschen Vereins für Vermessungswesen, der „Wissenschaftspreis des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR)“, der „Hansa Luftbildpreis“ der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) sowie zwei „Ulrich Finsterwalder Preise“ der TU München – eine wahrhaft einmalige Sammlung, die die Qualität der wissenschaftlichen Ausbildung am Lehrstuhl EBNER wohl besser dokumentiert als irgendein anderes Kriterium. Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang, dass EBNER über den von ihm ins Leben gerufenen Doktoren-Stammtisch mit seinen Schülern auch nach deren Ausscheiden an der TU intensiven Kontakt pflegt. Die Runde zählt inzwischen stolze 24 Mitglieder, obwohl man nie ganz sicher ist, denn die Zahl steigt auch heute noch ständig.

HEINRICH EBNER hat seine aktive Tätigkeit an der TU München zum 30.9. 2003 beendet. Es ist bei seinem geschilderten beruflichen Werdegang zwar nicht üblich, passt aber ins Bild: Nicht zuletzt aufgrund seiner Erfolge hat die TU München be-

schlossen, für Photogrammetrie und Fernerkundung zwei Nachfolger zu berufen. Prof. BAMLER, der auch das Institut für Methodik der Fernerkundung des DLR in Oberpfaffenhofen leitet, hat seine Urkunde bereits vor ca. 6 Wochen bekommen, der 2. Ruf wurde vor kurzem ebenfalls erteilt.

Nach dieser beeindruckenden Auflistung der Erfolge von HEINRICH EBNER möchte ich der Frage nachgehen, wie so etwas möglich ist. Das persönliche Talent sowie das oft zitierte Quäntchen Glück sollen dabei außen vor bleiben, denn davon können wir nichts lernen. Was also sind Voraussetzungen für eine derartige Karriere?

- Zunächst ist dies die wissenschaftliche Arbeitsweise: nach EBNER lässt sie sich verkürzt zusammenfassen zu „*nix glauben*“. Das impliziert ein gewisses Maß an Selbstkritik – auch die eigene, ach so tolle Idee sollte man nicht gleich glauben – aber auch an Frechheit – so sind Arbeiten von Koryphäen nach diesem Wahlspruch dazu da, besonders gründlich und kritisch hinterfragt zu werden. Schließlich kann man möglicherweise viel von diesen Arbeiten lernen, aber eben nur möglicherweise... In jedem Fall sind Argumente nach dem Motto „dieser oder jener hat gesagt oder geschrieben, dass...“ nichts wert. Stattdessen muss man sich schon der Mühe unterziehen, diese Aussagen selber nachzuvollziehen und ggf. zu widerlegen.
- In diese Richtung gehört auch die präzise, sprachliche Ausdrucksweise. Sie ist weniger Selbstzweck als vielmehr Prüfstein, ob man einen Sachverhalt tatsächlich verstanden hat. Einfach ist ja bekanntlich all das, was man weiß und kann, kompliziert der Rest. EBNERS Postulat dazu lautet: *erst wenn man eine Sache mit einfachen Worten und präzise erklären kann, hat man sie auch verstanden*, erst dann durchschaut man sie, erst dann ist sie glasklar. Manchmal bringen selbst banal klingende Wortspiele Erstaunliches hervor, so dass von EBNER immer wieder mal zitierte Beispiel der (an sich ja negativ belegten) „Enttäuschung“. Genauer betrachtet ist sie das Gegenteil der Täuschung, und da-

mit eine vielleicht schmerzliche aber im Sinne der Wahrheitsfindung eben positive Entwicklung. Um solche Gedanken zu fassen und zu verstehen, muss man den Dingen auf den Grund gehen, und das braucht Zeit. Gerade heute muss immer wieder in Erinnerung gerufen werden, dass Wissenschaft nichts mit der Stoppuhr oder gar der Stechuhr zu tun hat, sondern im Gegenteil Muße und Zeit zum Nachdenken braucht, wenn sie langfristig Erfolg haben will. Aktionismus und Modernismus um ihrer selbst willen sind Gift für die Universität und damit auch für die Bildung und Ausbildung unserer Studenten sowie für die Konkurrenzfähigkeit unserer Wirtschaft und Industrie.

- Eine weitere Grundlage ist sicher EBNERS Neigung, die Dinge einfach zu halten. Nach EBNER ist von zwei Lösungen für dasselbe Problem die einfachere grundsätzlich die bessere, oder mit den Worten von ALBERT EINSTEIN: „*Man soll die Dinge so einfach wie möglich machen, aber nicht einfacher*“. Einfache Lösungen bestehen natürlich zunächst durch ihre Eleganz und ihren Charme, sie haben aber auch einen praktischen Wert: sie sind einfacher nachvollziehbar und damit einfacher kontrollierbar. Dieser Aspekt ist für einen Ingenieur und im Speziellen für einen Geodäten von eminenter Wichtigkeit, denn zumindest in Geodäsie und Geoinformatik gilt ja bekanntlich „*jede nicht kontrollierte Aussage ist wertlos*“. Ohne Überheblichkeit behaupte ich, dass andere Fachgebiete von Geodäten zumindest an dieser Stelle etwas lernen können.
- Ein weiterer wichtiger Grundsatz von HEINRICH EBNER ist das Denken in Modellen. So wichtig spezielle Projekte und deren Ergebnisse gerade im Ingenieurbereich sind, in der Wissenschaft geht es darum, *in Modellen statt in Projekten zu denken*. Modelle reduzieren die komplexe Umwelt auf die für eine Fragestellung wesentlichen und verallgemeinerbaren Aspekte, und ermöglichen so die Übertragbarkeit auf ähnliche Fragen und die Vorhersagbarkeit und experimentelle Überprüfung von Ergebnissen. Damit schaffen

- Modelle Wissen, und zum Wissen schaffen ist die Wissenschaft ja schließlich da.
- Schon fast eine Selbstverständlichkeit ist es, dass man *Forschung international* anzugehen hat. Damit etwas aus wissenschaftlicher Sicht wichtig ist, muss es vor diesem Hintergrund neu und brauchbar sein, und damit es auch wahrgenommen wird, muss es in der heutigen lingua franca der Wissenschaft, also auf Englisch formuliert werden. Daraus folgt natürlich auch, dass es unerlässlich ist, seine Arbeiten im internationalen Umfeld vorzustellen. Und es sagt ja niemand, dass eine Reise in die USA, nach Japan oder sonst wohin in dieser Welt nur Kosten und Mühen mit sich bringt – oder frei nach GOETHE: *Reisen bildet*.
 - Eine noch weiter ins Persönliche gehende Eigenschaft ist die Bereitschaft, sich einer Herausforderung mit allen Konsequenzen zu stellen. Dazu gehört auch, Verantwortung zu übernehmen für Dinge, die man nicht selber beeinflusst hat bzw. beeinflussen konnte. Danach nützt es nichts zu versuchen, die Schuld für etwas bei anderen zu suchen, statt dessen „*kehre jeder vor seiner eigenen Tür*“. Es ist wohl genau dieser gesunde Menschenverstand oder (österreichisch) Hausverstand, der neben den mathematischen und analytischen Fähigkeiten, die ein Wissenschaftler zweifelsohne braucht, eine wesentliche Grundlage für den Erfolg darstellt, der HEINRICH EBNER vergönnt war.

Nicht zur Sprache kam in dieser Laudatio die private Seite des Lebens von HEINRICH EBNER, seine Frau, seine 3 Kinder und 3 Enkelinnen, seine Verbindung zur österreichischen Heimat, sein Humor – er erzählt mit Vorliebe Österreicher-Witze und seine Hobbies – mit dem Fahrrad von München an die Adria zu fahren ist für ihn z. B. eine schöne Abwechslung zum Büroalltag, vor allem dann, wenn es dabei in den Etappenzielen guten Wein gibt. Auch die außerordentliche Tiefe des Wesens von HEINRICH EBNER, das in Bescheidenheit, Religion und Philosophie wurzelt, möchte ich nicht weiter beleuchten. Darüber und über Vieles mehr zu sprechen würde eine eigene Laudatio füllen.

Stattdessen möchte ich mich zum Abschluss im Namen aller Deiner Schüler bedanken für all die Beiträge, die Diskussionen, die Hilfe im fachlichen und persönlichen Bereich, die Du, lieber HEINRICH, uns allen hast zukommen lassen. Die Universität Hannover ist stolz darauf und freut sich, Dir in Würdigung Deiner exzellenten nationalen und internationalen Verdienste als Hochschullehrer und Wissenschaftler im Bereich der Photogrammetrie die Ehrendoktorwürde verleihen zu dürfen. Wir verbinden damit tiefen Respekt und Dankbarkeit – herzlichen Glückwunsch zu dieser Auszeichnung!

CHRISTIAN HEIPKE, Hannover

Vorankündigungen

2004

16./17. Februar: Workshop **eLearning in Geoinformatik und Fernerkundung – Stand und Perspektiven** in **Vechta**. Auskünfte durch: PD Dr.-Ing. habil. Jochen Schiewe, Forschungszentrum für Geoinformatik und Fernerkundung (FZG) an der Hochschule Vechta, Tel.: 04441-15-558, e-mail: jschiewe@fzg.uni-vechta.de <http://www.fzg.uni-vechta.de/dgpf>

19.–21. Februar: **Panoramic Photogrammetry Workshop** in **Dresden**. Organisation: (1) Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, TU Dresden, Prof. Hans-Gerd Maas, (2) Institut für Photogrammetrie, Universität Stuttgart, Prof. Ralf Reulke und (3) ISPRS WG V/1 „Automation for Vision Metrology Systems and Industrial Applications“, Prof. Thomas Luhmann, Oldenburg, Prof. Stuart Robson, London.

Auskünfte durch: Prof. Hans-Gerd Maas, TU Dresden, Helmholtzstr. 10, D-01069 Dresden, Tel.: +49-351-4633-28 59 e-mail: hmaas@rcs.urz.tu-dresden.de

23. Februar: Workshop **UMN Map Server-eine Open Source- Internet- GIS- Lösung für den kommunalen Einsatz in Rostock**. Leitung: Prof. Dr. Ralf Bill. Auskünfte durch: STZ Geoinformatik, Pfeifengrasweg 5, 18198 Kritzmow, Fax: 0381-498 21 88, e-mail: ralf.bill@auf.uni-rostock.de.

24.–27. Februar: **Microrad 2004**: 8th Specialist Meeting on **Microwave Radiometry and Remote Sensing Applications** in der Universität “La Sapienza“ in **Rom**. <http://www.microrad04.org>

2.–5. März: **SATELLITE 2004 in Washington DC, USA**. Auskünfte durch: IAF, e-mail: iaf@wanadoo.fr, www.satellite2004.com

10.–12. März: 9. **Münchener Fortbildungseminar “Geoinformationssysteme“ in München**. Leitung: Prof. Dr. M. Schilcher. Auskünfte durch: Runder Tisch GIS e.V. und TU München, FG Geoinformationssysteme, Arcisstr. 21, 80290 München. <http://www.runder-tisch-gis.de>; Tel.: +49-89-2892 28 49, Fax: +49-89-2892 28 78; e-mail: roland.dietrich@bv.tum.de

15.–19. März: 14th **International Conference on Engineering Surveying in Zürich**. Auskünfte durch: Prof. Hilmar Ingensand, Tel.: +41-1-633-3056, Fax: +41-1-633-1101, e-mail: ingensand@geod.baug.ethz.ch, www.iv2004.ethz.ch/index_e.htm

29.–31. März: The 4th **ISPRS Com.I, WG II/1, II/2, IV/2, V/5 International Symposium on Mobile Mapping Technology “MMT 2003“ in Kunming, China**. Auskünfte durch: Prof. Vincent Tao, Tel.: +1-416-736-52 21, Fax: +1-416-736-58 17, e-mail: tao@yorku.ca und Prof. Gang Deng, Tel.: +86-871-514-42 12, Fax: +86-871-519-86 22, e-mail: iep@kmust.edu.cn; www.geoiect.net/mmt2003/index.htm

15.–17. April: International Symposium on **Spatial Data Quality ISSDQ 2004 in Bruck an der Leitha, Österreich**. Auskünfte durch: Prof. Dr. Andrew Frank, e-mail: frank@geoinfo.tuwien.ac.at und Mag. Eva Grum e-mail: grum@geoinfo.tuwien.ac.at

25.–30. April: **European Geosciences Union 1th General Assembly in Nizza, Frankreich**. Auskünfte durch: EGU Office, Tel.: +49-5556-14 40, Fax: +49-5556-47 09 e-mail: egu@copernicus.org; www.copernicus.org/EGU/ga/egu04/index.html

17.–19. 5. 2004: **Der X Faktor – Mehrwert für Geodaten und Karten**. Symposium Praktische Kartographie der Deutschen Gesellschaft für Kartographie (DGfK) e.V. in **Königsplatz** am Elm. Auskünfte: www.praktische-kartographie-dgfk.de, Fax: 0511–646 3180 oder Tel.: 0511–647 9449 oder schriftlich von: B.J. HORST, Alter Mühlenkamp 26, 30659 Hannover.

22.–27. Mai: **FIG Working Week 2004: The Olympic Spirit in Surveying in Athen, Griechenland**. Auskünfte durch: Tel.: +30-210-329 16 17, Fax: +30-210-322 28 32 www.fig2004.gr/

23.–28. Mai: **ASPRS Annual Conference in Denver, CO, USA**. Auskünfte durch: ASPRS, Tel.: +1-301-493-0290, Fax: +1-301-493-0208, e-mail: asprs@asprs.org, www.asprs.org/denver2004.html

24./25. Mai: **Geodesy, Cartography, Cadastre in the Service of Russia in Moskau**. Auskünfte durch: Tel.: 7-95-261 6953, Fax: 7-95-276 4681, e-mail: yambaev@miigaik.ru, www.miigaik.ru

25.–27. Mai: 24th **EARSeL Symposium in Dubrovnik, Kroatien**. Auskünfte durch: EARSeL Secretariat, 2, avenue Rapp, 75340 Paris Cedex 07, France. e-mail: earsel@me teo.fr, www.earsel.org

28./29. Mai: **EARSeL Workshop “Remote Sensing of Land Use & Land Cover“ in Dubrovnik, Kroatien**. Auskünfte durch: Dr.

Matthias Braun, Zentrum für Fernerkundung der Landoberfläche (ZFL), Universität Bonn, e-mail: sig-lulc@uni-bonn.de und Mme M. Godefroy, EARSeL Paris, e-mail: earsel@meteo.fr <http://www.zfl.uni-bonn.de>

7.–9. Juni: 12th International Conference on Geoinformatics Geospatial Information Research: **Bridging the Pacific and Atlantic** in Gävle, Schweden. Auskünfte durch: Dr. Bin Jiang, Tel.: +46-26-64 89 01, Fax: +46-26-64 88 28, e-mail: bin.jiang@hig.se, www.hig.se/geoinformatics/

28.–30. Juni: Workshop on **Engineering Surveys for Construction Works and Structural Engineering** in Nottingham, England. Auskünfte durch: Dr. Gethin Roberts, e-mail: gethin.roberts@nottingham.ac.uk

10.–12. Juli: **ISPRS IC WG II/IV 5th Joint ICA/ ISPRS/ EuroGeographics Workshop on Incremental Updating and Versioning of Spatial Data Bases** in Istanbul. Auskünfte durch: Dr. Ammatzia Peled, Co-chair IC WG II/IV, Tel.: +972-4-8-240-148, Fax: +972-4-8-249-605, e-mail: peled@geo.haifa.ac.il und rjb@rjb-3d.com, <http://geo.haifa.ac.il/icaupdt>

12.–23. Juli: **XXth ISPRS Congress – Geo Imagery Bridging Continents** in Istanbul. Auskünfte durch: Kongressdirektor Prof. M. Orhan Altan, Tel.: +90-212-285-3810, Fax: +90-212-285-6587, e-mail: oaltan@itu.edu.tr, www.isprs2004-istanbul.com

18.–25. Juli: 35th **COSPAR Assembly in Paris**. Auskünfte durch: COSPAR Sekretariat, Tel.: +33-1-45 25 06 79, Fax: +33-1-40 50 98 27, e-mail: cospar@cosparhq.org und cospar@paris7.jussieu.fr, <http://www.cosparhq.org/>

2.–6. August: 15th International Symposium on **Earth Tides** in Ottawa, Kanada. Auskünfte durch: Prof. Dr. Shuzo Takemoto, e-mail: takemoto@kugi.kyoto-u.ac.jp www.eas.yorku.ca/ETS-2004/ets.html

23.–25. August: 11th International Symposium on **Spatial Data Handling (SDH 2004)** in Leicester, UK. Auskünfte durch: SDH 2004, e-mail: sdh2004@le.ac.uk, www.geog.le.ac.uk/sdh2004

25.–28. August: **EuroScience Open Forum 2004** in Stockholm. Auskünfte durch: EuroScience, e-mail: info@esof2004.org www.esof2004.org/

25.–28. August: International Conference on **E-business and Telecommunication Networks (ICETE 2004)** in Setubal, Portugal. Auskünfte durch: ICETE Sekretariat, e-mail: secretariat@icete.org; www.icete.org/

7.–10. September: **RSPSoc2004 – Mapping and Resources Management** in Aberdeen, UK. Auskünfte durch: RSPSoc, e-mail: rspsoc@nottingham.ac.uk; www.rspsoc.org

15.–17. September: **24. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF** in Halle/Saale. Auskünfte durch: Dr. Klaus-Ulrich Komp, Präsident DGPF, e-mail: Präsident@dgpf.de; Sekretär DGPF, Dr.-Ing. Manfred Wiggenhagen, e-mail: wigge@ipi.uni-hannover.de und Frau Prof. Dr. Cornelia Gläßer, e-mail: glaesser@geographie.uni-halle.de

20.–24. September: **IEEE/IGARSS 2004** in Anchorage, USA. Auskünfte durch: Dr. Bill Emery, e-mail: Emery@frodo.colorado.edu, <http://ewh.ieee.org/soc/grss/igarss.html>

21./22. September: **AgA-Tagung** „Arbeitsgruppe Automation in der Kartographie der DGfK“ im Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung der Stadt Hamburg. Auskünfte und Einreichung von Beiträgen: www.ikg.uni-hannover.de/ega

3.–6. Oktober: International Conference on **Laser-Scanner for Forest and Landscape Assessment – Instruments, Processing Methods and Applications** in Freiburg im Breisgau. Auskünfte durch: Institut für Waldwachs-

tum und Abteilung für Fernerkundung und Landschaftsinformationssysteme der Universität Freiburg, Tennenbacher Str. 4, 79106 Freiburg i.Br., Tel.: +49-761-203-3694, Fax: +49-761-203-37 01

Prof. Dr. Barbara Koch, e-mail: Barbara.Koch@felis.uni-freiburg.de

Prof. Dr. Heinrich Spiecker, e-mail: instww@uni-freiburg.de

Michael Thies, e-mail: Michael.Thies@iww.uni-freiburg.de

www.natscan.de; www.felis.uni-freiburg.de

Deadline for abstracts of papers and posters: 1 May 2004.

3.–7. Oktober: **FIG Regional Conference for Asia and the Pacific in Jakarta**, Indonesien. Auskünfte durch: FIG Office, e-mail: fig@fig.net, www.ddl.org/figtree/events/events2004.htm

6.–8. Oktober: **DFD-Nutzerseminar in Neustrelitz**. Auskünfte durch: Dr. Rainer Ressler

Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum (DFD), Kalkhorstweg 53, 17235 Neustrelitz, Tel.: 03981-480 100, Fax: 03981-480 299, e-mail: Rainer.Ressler@dlr.de

10.–21. Oktober: International Conference on Radar Systems **RADAR 2004 in Toulouse**, Frankreich. Auskünfte durch: SEE Congress Dept., Tel.: +33-1-56-90 37 05, Fax: +33-1-56-90 37 19, e-mail: congress@see.asso.fr, www.radar2004.org

13.–15. Oktober: **INTERGEO 2004 in Stuttgart**. Auskünfte durch: www.dvw.de und www.hinte-messe.de

13.–16. Oktober: 4th **Trans Tasman Surveyors Conference in Auckland**, Neuseeland. Auskünfte durch: Fax: 64-9-528 1656, e-mail: surveyors2004@cmcevetns.co.nz, www.conventions.co.nz

Mitteilungen der DGPF

Schwerpunktheft der PFG

Auch im Jahre 2004 wird vom Vorstand der DGPF und von der Schriftleitung der PFG die Herausgabe von „Schwerpunktheften“ gefördert. Ähnlich wie im vergangenen Jahr bei den Heften 1/2003: »*Geofernerkundung an der Universität Trier*«, 4/2003: »*25 Jahre Bildflugnavigation von IGI*«, 6/2003: »*Aktuelle Forschungsthemen in der Geoinformatik*«, wird es im Jahr 2004 mehrere Schwerpunktheft geben mit Konzentration auf aktuelle Themen und Ereignisse.

Bei den „Schwerpunktheften“ stehen für die ausgewählten Themen ab 2004 jeweils rund 40 Druckseiten zur Verfügung.

PFG Beiträge auf 10 Druckseiten Umfang begrenzen

Die Autoren werden gebeten, ab 2004 ihre Originalbeiträge und Beiträge aus Wissenschaft und Technik auf maximal 10 Seiten zu begrenzen.

Damit erfolgt zum einen eine bessere Konzentration auf den wesentlichen Inhalt der Beiträge und zum anderen kann eine höhere Anzahl von Beiträgen innerhalb eines Heftes abgedruckt werden.

Zum Titelbild



Das Titelbild zeigt WILFRIED WESTER-EBBINGHAUS und eine Collage aus wichtigen, mit seinem Namen verbundenen Entwicklungen und Projekten in der Nahbereichsphotogrammetrie. Von links nach rechts sieht man zunächst die Rückansicht der berühmten Teilmesskamera Rolleiflex 6006 metric mit Réseauplatte und 121 Gitterkreuzen. Sie avancierte nach ersten Versuchen mit der Mittelformatkamera Rolleiflex SLX zur meist verkaufte photogrammetrischen Kamera. Diese und weitere technische Innovationen des Kameraherstellers gingen im Wesentlichen auf Impulse von WESTER-EBBINGHAUS zurück.

Das zweite Bild zeigt den Ausschnitt eines Messbildes des Domes von Siena. In einem der umfangreichsten Projekte der Architekturphotogrammetrie der achtziger und neunziger Jahre wurden Teile des historischen Baubestandes von Siena photogrammetrisch erfasst. Die Nähe zur italienischen Kultur war charakteristisch für WESTER-EBBINGHAUS und fand ihren Ausdruck unter anderem in der Innenausstattung seines

Braunschweiger Institutes und dem Ausschank von italienischem Wein und Käse auf den von ihm betreuten Messe- und Ausstellungsständen.

Die dritte Abbildung zeigt den digitalen Réseau-Scanner Rollei RS1-C, mit dem Punkte in analogen Bildvorlagen bis zum Luftbildformat mit einer Genauigkeit von $1\ \mu\text{m}$ automatisch gemessen werden konnten.

Das vierte Bild stellt eine der am meisten kopierten Abbildungen dar, die WESTER-EBBINGHAUS publiziert hat. Die Strahlenbündel beliebig vieler Messaufnahmen bilden ein stabiles und redundantes räumliches Netz, das mit Hilfe von Ausgleichsmethoden berechnet und optimiert werden kann. Die Bündelausgleichung ist heute wichtigstes Rechenwerkzeug der Nahbereichsphotogrammetrie.

Schließlich zeigt das letzte Bild der Reihe den Endpunkt der Entwicklung analoger Réseau-Kameras. In der Large Format Camera (LFC) wurde ein Réseau von 2 mm Abstandsweite eingesetzt, das für die numerische Bildverebnung des Luftbildfilmformates sorgte. Die Zahl von 12 996 abgebildeten Réseau-Punkten konnte manuell nicht mehr gemessen werden. Stattdessen wurde der oben beschriebene Réseau-Scanner als Monokomparator eingesetzt. Mit der LFC wurden relative Messgenauigkeiten von bis zu 1:200.000 erreicht.

Der Bildhintergrund zeigt ein Messbild zur Vermessung des Traggerüsts der Wuppertaler Schwebebahn, an der WESTER-EBBINGHAUS und andere in den Jahren 1978–80 beteiligt waren.

THOMAS LUHMANN, Oldenburg &
JÜRGEN PEIPE, München