

PRG

Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

Organ der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie
und Fernerkundung e.V.

Jahrgang 2001, Heft 4

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

Schriftleiter:
Prof. Dr. Franz K. List und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert

Redaktionsbeirat (Editorial Board): Jörg Albertz, Hans-Peter Bähr, Manfred F. Buchroithner, Ákos Detreköi, Egon Dorrer, Heinrich Ebner, Manfred Ehlers, Wolfgang Förstner, Dieter Fritsch, Armin Grün, Dierk Hobbie, Joachim Höhle, Hermann Kaufmann, Barbara Koch, Gottfried Konecny, Karl Kraus, Thomas Luhmann, Martien Molenaar, Karl Regensburger, Heinz Schmidt-Falkenberg und Bernhard P. Wrobel



E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung
(Nägele u. Obermiller) Stuttgart 2001



DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR PHOTOGRAMMETRIE
UND FERNERKUNDUNG E.V.
Gegründet 1909

Die *Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung 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:

© 2001 Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung e.V.

Geschäftsstelle: Dr. Klaus-Ulrich Komp, c/o EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Ostmarkstraße 92, D-48145 Münster, e-mail: Praesident@dgp.de

Internet: <http://www.dgp.de>

Published by:

E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Johannesstraße 3 A, D-70176 Stuttgart. Tel.: 0711/625001, Fax: 0711/625005, e-mail: mail@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: Prof. Dr. Franz K. List, Freie Universität Berlin, Institut für Geologie, Geophysik und Geoinformation, Malteserstr. 74-100, D-12249 Berlin, e-mail, fklist@zedat.fu-berlin.de und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert, Landesvermessungsamt Brandenburg, Heinrich-Mann-Allee 103, D-14473 Potsdam, e-mail: eckhardt.seyfert@lvermap.brandenburg.de

Erscheinungsweise: 6 Hefte pro Jahrgang.

Bezugspreis im Abonnement: DM 158,00 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.: 0711/625001; Fax: 0711/625005. e-mail: mail@schweizerbart.de

Bernhard Harzer Verlag GmbH, Westmarkstraße 59/59a, D-76227 Karlsruhe, Tel.: 0721/944020, Fax 0721/9440230, e-mail: Info@harzer.de, Internet: www.harzer.de

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

PFG – Jahrgang 2001, Heft 4

Inhaltsverzeichnis

Originalbeiträge

WALDHÄUSL, P.: CIPA – I ² DOC Brücke zwischen Informationstechnik und Kulturerbe	237
VAN DEN HEUVEL, F. A.: Object Reconstruction from a Single Architectural Image Taken with an Uncalibrated Camera	247
WIEDEMANN, A.: Kombination von Laserscanner-Systemen und photogrammetrischen Methoden im Nahbereich	261
HEMMLER, M.: Digitale Entzerrung historischer Messbilder	271
PETSA, E.: Zur digitalen Projektion und Visualisierung von Türmen	283
ROTTENSTEINER, F.: Halbautomatische Gebäudeauswertung durch Integration von hybrider Ausgleichung und 3D Objektmodellierung	289

Berichte

Persönliches

Verabschiedung von Prof. Dr.-Ing. JÖRG ALBERTZ als Hochschullehrer	303
Laudatio für JÖRG ALBERTZ	304
Vorankündigungen	308
Hochschulnachrichten	
Technische Universität Wien – F. ROTTENSTEINER	310
Zum Titelbild: Der Französische Dom zu Berlin (J. ALBERTZ)	312

CIPA – I²DOC Brücke zwischen Informationstechnik und Kulturerbe

PETER WALDHÄUSL, Wien (Österreich)

Zusammenfassung: Das 'Internationale Komitee für Architekturphotogrammetrie' CIPA war während seiner ersten und hervorragenden Periode nach der Gründung 1968/70 ein sehr stark spezialisiertes Gremium. Es kämpfte gegen die Konkurrenz der klassischen Bauaufnehmer um die Einführung der jüngst gut neuentwickelten Ausrüstung für Stereophotogrammetrie und für die Meydenbauer-Idee der Sicherung von Denkmälern durch Fotografie. Auch in seiner zweiten Periode nach 1980 half CIPA bei der Weiterentwicklung der Software für die Analytischen Auswertegeräte und ihren fachgerechten Einsatz für Architektur und andere Anwendungen der Nahbildmessung. Ab 1992 wurde CIPA mehrfach reformiert, entspezialisiert, um letztlich eine Brücke zwischen IT und Kulturerbe sein zu können. Ab 1998 arbeitet CIPA für den Bedarf des ICOMOS in einem viel weiteren Feld. Das neue CIPA-I²DOC umfasst jetzt die Erfassung und das Dokumentieren in GIS, Photogrammetrie und Vermessung, andere Messmethoden, wie Laserabtastung, geophysikalische und aerophotogrammetrische Prospektion und Überwachung und entwickelte sich so selbst zum kompetenten und auf der ganzen Welt erreichbaren Partner für Datentechnologie auf dem Gebiet der Kulturgutpflege.

Abstract: *CIPA – I²DOC Bridge between Information Technology and Cultural Heritage.* The 'International Committee for Architectural Photogrammetry' CIPA was a very much specialised Committee in its first and splendid period after foundation in 1968/70. It was fighting against classical building surveying for the implementation of the newly well developed stereophotogrammetric equipment and for Meydenbauers idea of cultural heritage documentation by photography. Also in its second period (after 1980) CIPA helped to further develop the software for the analytical plotters and their proper use in architectural and other close range applications. From 1992 onwards CIPA underwent several reformations, despecialised finally to become a bridge between IT and Cultural Heritage, working from 1998 onwards in a wider field of technology, as requested by the ICOMOS users. The new CIPA-I²DOC comprises now Recording and Documentation in GIS, Photogrammetry, Surveying, other data collection methods as laser scanning, geophysical and aerial prospection and monitoring, thus developing itself to become a competent and world wide present partner on data technology in cultural heritage conservation.

1 Einleitung

Die Geschichte der Architekturphotogrammetrie im Spiegel der technischen Entwicklung ist in ausgezeichneter Weise von ARMIN GRÜN¹ in der deutschen *Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung* beschrieben worden. In diesem Beitrag steht dazu die Sicht des CIPA im Mittelpunkt, eines der ältesten Komitees des *International Council on Monuments and Sites* (ICOMOS), welchem heute etwa 6500 Denkmal-

pflegeexperten, wie Architekten, Kunsthistoriker, Restauratoren, aber auch Juristen und Denkmaleigner aus mehr als hundert Ländern angehören. *CIPA* steht für *Comité International de la Photogrammétrie Architecturale*, was auf seine Tradition und seine zweite Wurzel in der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie hinweisen soll. Diese gut eingeführte Kurzbezeichnung hat man wegen ihres großen Bekanntheitsgrades beibehalten. Der neue Haupttitel drückt aber besser aus, was CIPA heute ist: Das

von ICOMOS und der *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ISPRS) gemeinsam gegründete ICOMOS-Komitee für Dokumentation des Kulturerbes. Das I²DOC ist ein inoffizielles Additivum als Marketing-Gag. Es soll auffallen, dass CIPA heute etwas anderes ist. Die alte und zu enge Ausrichtung hat eine starke Erweiterung erfahren. Zu Anfang war CIPA fast nur eine europäische Angelegenheit von acht Experten. Im heutigen Komitee arbeiten bereits mehr als 200 aus mehr als 50 Ländern der ganzen Welt zusammen. CIPA-I²DOC ist wirklich international geworden. Im Folgenden sollen die Entwicklung und die Ziele von CIPA-I²DOC im Umfeld der historischen kleinen und größeren Fachprobleme betrachtet werden.

2 CIPA

2.1 *Periode der Renaissance der Stereophotogrammetrie (etwa ab 1968)*

Zur Zeit seiner Gründung, 1968/70, sollte CIPA die Stereophotogrammetrie im Bereich von Architektur und Denkmalpflege fördern. Man sprach nur über Photogrammetrie.

Man sammelte Literatur, berichtete über Anwendungen, man gab Empfehlungen und förderte umgekehrt auch die Entwicklung photogrammetrischer Analogaufnahme- und Analogauswertegeräte. Der Erfolg blieb nicht aus: In vielen Ländern wurden spezielle Zentren für Architekturphotogrammetrie gegründet. Es entstanden neue Bildarchive, überall fand man Zeiss Terragraphen und wertete Normalfallbilder der Stereomeßkameras Zeiss SMK 120, der SMK 40 und der TMK aus. Auch mit anderen Firmen, wie Wild Heerbrugg und Jenoptik Jena, wurde zusammengearbeitet. Alle profitierten. Geräte wurden teilweise mit Entwicklungshilfegeldern exportiert. Die besonders vom CIPA-Mitbegründer HANS FORAMITTI und der Firma Carl Zeiss in Oberkochen eingeleitete Renaissance der ALBRECHT MEYDENBAUER'schen Idee (Preußische Meßbildanstalt 1885) trug neue Früchte.

Damit begann für den Bereich der Denkmalpflege aber eine relativ teure Zeit, denn die Geräte, die dafür notwendigen Räume, die Spezialisten und deren Schulung mussten ja auch finanziert werden. Dass sich die Sache rentierte und hervorragend funktionierte, bestritten die Experten nicht. Aber über die hohen Einstiegskosten und auch Dauerkosten der Photogrammetrie schimpften viele, vor allem jene, deren Budgetanteil deswegen gekürzt werden musste. Die Photogrammetrie war in so manchem Denkmalamt nicht unbedingt das meist geliebte Kind. Auch bei den an händischer Bauaufnahme verdienenden Architekten und Kunsthistorikern und bei so manchem Vermessungsingenieur war die Freude nicht ungeteilt.

Die Photogrammetrie lieferte hervorragende Pläne, die aber nicht von jenen hergestellt worden waren, die bisher an den Bauaufnahmen verdient hatten, sondern von „Konkurrenten“. Die Folge war, dass die Kritik an den photogrammetrischen Auswertungen auch aus primitivem Neid zunahm; oft hörte oder las man geradezu peinliche, nur auf Einzelfälle zutreffende Gegenargumente.

Man erkannte, dass die photogrammetrischen Pläne anders aussehen als die das Künstlerische betonenden, mit freier Hand gezeichneten Architektenpläne. Die photogrammetrischen Auswertungen wiesen exakt gerade, oft stets gleich starke Linien auf. Diesen sähe man nicht an, ob sie eine Trennungslinie zwischen gleich entfernten Flächen oder eine Kante darstellen sollten. Den Photogrammetern fehle das Geschick, figurale Details richtig und schön darzustellen. Sie zeichneten Dinge, wie Verputzschäden, Ausbesserungsspuren, als bedeutend ein, obwohl das den Architekten überhaupt nicht interessiere. Andererseits fehlten die Grenzen zwischen Alt- und Neubau. Daran ist so manches wahr, nicht alles davon aber immer wichtig. Vor allem: Man musste erst voneinander lernen, füreinander zu arbeiten.

Andererseits sind photogrammetrische Pläne verlässlicher und genauer. Das geodätische Prinzip: „Vom Großen ins Kleine“,

das fordert, zuerst die Rahmenvermessung (Passpunktmessung, Polygonaufnahme) und dann, davon ausgehend, erst die Detailaufnahme (Einzelmodellauswertung) durch Interpolation vorzunehmen, bewirkte, dass die Photogrammetrie die Fehlerfortpflanzung beherrschte; ganz im Gegensatz zum stets extrapolierenden Handaufmaß.

Für die Aufnahmen benötigen die Photogrammeter so manche Hilfseinrichtung, um überall hinsehen zu können, aber kein teures Baugerüst, das dann unnötig lange zu hohen Kosten stehen bleiben muss. Man kann berührungsfrei aufnehmen, Fernes erreichen, auch unbemerkt, selbst bei Einsturzgefahr oder noch während eines Brandes. Die photogrammetrischen Bilder müssen nicht gleich ausgewertet werden, sie können auch als Sicherungskonserve für den Fall eines späteren Bedarfs dienen, eine Tatsache, die besonders der konservierenden Denkmalpflege recht war. Photogrammetrische Auswertungen sind nachvollziehbar, jederzeit wiederhol- oder ergänzbar, wenn einmal ein Detail vergessen wurde oder sich erst im Nachhinein als wichtig herausstellte. Man musste also den neuen Konkurrenten akzeptieren, die Argumente waren überzeugend, man beschränkte sich jedoch auf das unbedingt Notwendige und so manche Schrift auf den Behördentischen betraf die Frage: Vermessung oder Photogrammetrie?, statt sofort statt „oder“ „und“ zu sagen und nach der bestmöglichen Kombination zu suchen.

Ein anderer heikler Punkt waren die Fachausdrücke. Die Photogrammeter sprachen z. B. von mittlerer Genauigkeit oder mittleren Fehlern und ließen Fehler bis zu deren Dreifachem zu. Die Architekten sprachen von Toleranzen und meinten die maximal zulässigen Fehler. Zur Zusammenarbeit gehört auch eine gemeinsame Sprache.

CIPA sah seine Hauptaufgabe darin, die ja schon lange bekannten positiven Argumente in Empfehlungen, Leitsätzen, Richtlinien für die Praxis möglichst weit zu verbreiten, auf mögliche Fehlerquellen hinzuweisen und anzugeben, wie man sie vermeiden könne.

CIPA wendete viel Zeit und Geduld auf, um das neue Wissen voneinander rasch untereinander zu verbreiten. Nach sechs Jahren zählte man 849 publizierte einschlägige Fachartikel!²

CIPA stellte eine Art Entwicklungs-, Beratungs- und Schulungsklub für Industrie und Praxis dar, was bei der damals geringen Anzahl von Firmen und Unternehmen auch noch leicht möglich war. CIPA warb für die Photogrammetrie und überzeugte viele. Der Gegendruck aus den Reihen derer, die nicht selbst über Photogrammetrie verfügten, blieb. Die Diskussion spielte sich meist unter den Technikern ab, den bauaufnehmenden Architekten und vielen Vermessungsingenieuren einerseits und den „neuen“ Photogrammetern andererseits.

Das Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien bot damals in einer diplomatischeren Art und Weise den Architekten statt eines „Entweder-Oder“ eine variable Schnittstelle zwischen Geodäsie und Photogrammetrie einerseits und der Detailaufnahme, Zeichnung und Baubeschreibung andererseits an. Je nach Wunsch konnten nach fast jeder der folgenden Aufnahmephasen Ergebnisse übergeben werden, sodass beide einen Gewinn hatten:

1. Passpunktmessung, lokal oder mit Anschluss an das städtische oder Landeskoordinaten- und Höhensystem;
2. Vermessung von Architekturhauptpunkten (First- und Traufenenden, Gaupen-, Kamin- und Fensterpunkte), Katasteranschluss und Höhenknoten;
3. Fassadenaufnahme, mono oder stereo, sowie Entzerrungen;
4. Punktweise analytische Auswertung vereinbarter Dach- und Fassadenpunkte;
5. Komplette Rohauswertung, 2D oder 3D;
6. Reinzeichnung auf Transparentfolie.
7. Herstellung technischer und historischer Baubeschreibungen, Baubewertung.

So wurden große Altstadtteile von Salzburg, Passau, Schärding nach Punkt 3 oder 4 übergeben, komplizierte Zierfassaden jedoch nach Punkt 5 oder 6. Dem Architekten blieb, woran er leicht mit seinem Personal selbst verdiente; der Photogrammetrie blieb,

was sie besser, billiger und verlässlicher konnte. Punkt 7 gehörte stets zum Architekten. Ein typischer Kompromiss, der aus dem Konkurrenzdruck und dem Ausbildungsstand der Partner resultierte. Aber: Das Zusammenarbeiten und voneinander Profitieren wurde gelernt.

MEYDENBAUER jedoch hat man nicht ganz verstanden. Er hatte ja empfohlen, dass alle Denkmalwürdige im Lauf der Zeit berührungsfrei photogrammetrisch erfasst und in Messbildarchiven gesichert würde. Wenn man heute, über hundert Jahre nach MEYDENBAUER und über dreißig Jahre nach der Gründung von CIPA, Messbildarchive besucht, gibt es zur Mehrzahl des architektonischen Kulturerbes noch immer nichts, von vielem wenig und wenn es etwas gibt, sind es überwiegend alte Aufnahmen vor der Restaurierung. Aktuelle Bilder mit dem Stand nach Restaurierungen, Neu- oder Zubauten fehlen. Freilich gibt es oft eine Unzahl von Nicht-Messbildern, die manche Details sehr ausführlich demonstrieren, oder Pläne vor Bauausführung, in denen neuere Zustände festgehalten sind. Die neuen Bilder sind aber meist nicht so hergestellt, dass man sie in einem späteren Bedarfsfall metrisch auswerten und die Ergebnisse mit höheren Genauigkeitsansprüchen in Pläne einbringen könnte. Fehlt da der Weitblick oder ist das Absicht? Will man die Ortsbildgeschichte verschleiern und zukünftigen Generationen nicht erlauben, aus falschen Maßnahmen zu lernen, um es später besser zu machen? Glaubt man wirklich, dass im neuen Jahrtausend nichts Schlimmes mehr passieren wird, wonach man auf Bilder zurückgreifen möchte?

2.2 Periode der Analytical Plotter (etwa ab 1980)

10 Jahre nach Gründung des CIPA setzte sich die analytische Photogrammetrie durch, die die so genannten Analytischen Plotter für die Auswertung der herkömmlichen Analogbilder verwendete. Diese waren zu Beginn allerdings nur mit Software für Senkrechtbilder aus Flugzeugen ausgestattet. Für die terrestrische Architekturphoto-

grammetrie war vieles sehr holprig, für „à la aero“ dagegen war alles fein. Es war z. B. schwierig, vorweg beobachtete oder berechnete Orientierungselemente einzustellen, terrestrische Aufnahmen zu orientieren, vor allem Schräg- und Konvergentaufnahmen, oder bestimmte Schnitte und Profile auszuwerten, Einspiegelungen und Modellan-schlüsse herzustellen. Das alles musste ja in den Programmen vorausbedacht sein. Die Programmierer waren aber häufig fachfremd.

CIPA-Experten zeigten Mängel auf und trugen dazu bei, dass auch die analytische Photogrammetrie für die Architekturwendungen brauchbar wurde. Im Laufe der Jahre wurden die Mängel beseitigt und bald volle Leistungsfähigkeit der Analytischen Plotter und der neuen mikroprozessorgesteuerten Zeichentische erreicht. ARMIN GRÜN fasste das so zusammen:

„Sie geben uns eine freie Aufnahmekonfiguration, volle Flexibilität bei der Kamera-wahl, schnelle und allgemeine Orientierungs-verfahren, hohe Auswertegenauigkeit bei freier Definition von Koordinatensystemen und Projektionsebenen, sowie digitale Planerstellung und Unterstützung durch eine Vielzahl von Plottfunktionen.“

Digitale Planerstellung: Hier musste man völlig umdenken. Der Auswerter arbeitete ab nun nicht mehr vom Stereomodell auf den Zeichentisch, sondern in die Ergebnisdatenbank bzw. auf einen rechnergestützten Grafikbildschirm. Anschließend kann man das Ergebnis editieren (ohne dabei die Ergebnisse zu verfälschen oder wichtige Details wegzulassen; ohne das, was krumm sein soll, zu begradigen!) und in beliebigen Maßstäben ausplotten. Ein unglaublicher Fortschritt für das Arbeiten. Zeichnungsteile, die sich oft wiederholen, wie etwa die von Fenstern, können als Signatur definiert und durch Anklicken beim Ankerpunkt rasch eingefügt werden. Eine sehr gefährliche und verbotene Vorgangsweise, wenn es vom Denkmalpflegestandpunkt aus besonders wichtig ist, die Detailvariabilität der Handarbeit darzustellen.

Die Operateure an den Analogauswertegeräten, für welche es bald keine Ersatzteile

sowie keinen Reinigungs- und Justierservice mehr geben sollte, plädierten für einen baldigen Umstieg auf diese neue Technologiegeneration. Denn durch die rechnergestützten Orientierungsverfahren ging alles viel schneller. Durch die Messung von mehr Orientierungsinformation waren die Einpassungen in die Gebäudekoordinatensysteme viel genauer möglich. Durch das rechnergestützte Zeichnen waren verschiedene Strichstärken und Liniensymbole einfach möglich. Die Justierungsarbeit an den Analoggeräten fiel weg. Die Messung an sich war genauer. Viele Beschränkungen durch die begrenzten Gerätebereiche der terrestrischen Analogphotogrammetrie fielen weg.

Das zahlenmäßige, digitale Arbeiten kam dem Trend zum Computer entgegen. Weitere Anwendungen wurden direkt am Messgerät möglich: rechnergesteuertes und rechnerkontrolliertes Messen; Schnitte, Abwicklungen, Entzerrungen. Orthophotoherstellung und Bündelblocktriangulation wurden erleichtert. Letztere bringt ja großen Vorteil: Wer vor der Detailauswertung blocktrianguliert, kennt zu jedem Bild bzw. Bildpaar die Orientierungselemente, womit garantiert ist, dass die Auswertungen benachbarter Modelle exakt zusammenpassen. Außerdem spart man Aufwand für Passpunktmessungen ein.

Die CIPA-Mitglieder haben durch eigene Arbeit, durch Know-how-Transfer zwischen Entwicklern und Anwendern sowie durch praktische Erprobung zu den Fortschritten beigetragen. Die Arbeitsgruppen, die CIPA anlässlich des Symposiums 1989 in Rom einführte, lösten Einzelfragen, wie zum minimalen Passpunktbedarf oder zu optimalen Kalibrierungsmethoden. Sie verglichen die Leistungsfähigkeit der Systeme und gaben objektive Empfehlungen an die Anwender weiter. Vom CIPA-Mitglied JOZEF JACHIMSKI und seinem Team wurde sogar ein eigener Analytischer Plotter entwickelt.

CIPA arbeitete auch weiter mit der Industrie zusammen. WILFRIED WESTER-EBBINGHAUS entwickelte zusammen mit der Firma Rollei das Teilmesskamera-Messsystem Rolleimetric.

CIPA wagte sich auch frühzeitig an die Verwendung von Amateur-Mittelformat- und Kleinbildaufnahmen. Die zunehmende Leistungsfähigkeit der Computer und die Höherentwicklung der Bündelblocktriangulations-Programme zu hybriden Universalausgleichssystemen machten das möglich. Anlässlich des XIV. CIPA-Symposiums in Athen und Delphi wurde der CIPA-Karlsplatz-Test gestartet, womit CIPA bewies, dass man im Notfall auch aus geschickt aufgenommenen³ Amateurbildern Rekonstruktionsunterlagen mit guter Genauigkeit herstellen könnte. Man hat also nun auch die Möglichkeit, Ortsbild- und Architekturdokumentation mit handelsüblichen und in grosser Zahl vorhandenen Fotoapparaten in grossem Umfang sowie auf Reisen und Expeditionen herzustellen. Die Auswertung ist aber relativ aufwändig und teuer. Amateurbilder für Messzwecke zu verwenden, ist wirklich nur für den Fall gedacht, dass einem zur Aufnahme keine bessere Kamera zur Verfügung steht, oder dass man sehr Vieles schnell und kostengünstig aufnehmen will und nur für sehr wenig davon und selten eine teure Auswertung erwarten muss. Vorstellbar wäre z. B. die Anordnung einer Bilddokumentation mit der Bevölkerung einer Stadt oder eines Landes, als Behelfs-Notfall-Sicherung innerhalb einer Woche zu Kriegsbeginn: Alle Oberstufenschüler aussenden und zumindest alle wertvolle Architektur im Bild nach den CIPA 3x3-Regeln festhalten. Besser so dokumentieren als gar nicht. Oder ein noch nicht photogrammetrisch bearbeitetes Weltkulturerbe jedenfalls einmal amateurphotogrammetrisch aufnehmen, bis man die Mittel für eine professionelle Bearbeitung zur Verfügung hat. ALBRECHT MEYDENBAUER würde das verstanden haben. Die Sicherungs-Bildarchive wären dann wenigstens nicht so leer. Rechtzeitig professionelle Aufnahmetechnologie einzusetzen, ist natürlich allemal das Bessere.

Die Photogrammetrie wurde wesentlich universeller, genauer und wirtschaftlicher zum Vorteil derer, die den Umstieg geschafft hatten. Bei den CIPA-Symposien überwogen Photogrammetrie-Themen, die für

Fachfremde uninteressant waren, derart, dass immer weniger Experten aus dem Bereich des ICOMOS daran teilnahmen. Es war höchste Zeit, sich wieder mehr um den Anwender zu kümmern, sich auch wieder mehr nach dem aktuellen Bedarf zu orientieren.

2.3 Periode volldigitaler Informationstechnologie (etwa ab 1992)

Der Umstieg von den analogen zu den analytischen Auswertegeräten war in den photogrammetrischen Abteilungen der Denkmalämter meist noch nicht abgeschlossen, als schon der nächste Technologiesprung kam, der Übergang vom analogen zum digitalen Bild: volldigitale CCD-Kameras und analytische Digitalbildauswertung, integriert mit digitaler Bildverarbeitung, CAD und GIS im „Digital Plotter“. Analogbilder werden mit Präzisionsscannern vorweg digitalisiert. Die höchste Auflösung der so erhaltenen Digitalbilder (30..15..7,5..4 µm Pixelgröße) entspricht heute schon der der Filme. Auch die Bildschirme werden immer besser. Der Analytical Plotter schrumpft auf die Größe eines besseren PC. Die Speicherkapazität der bildverarbeitenden Systeme wächst von Jahr zu Jahr.

Der Fortschritt bringt auch Nachteile. Viele neue Programme tauchen auf, mit deren Hilfe sich immer mehr als Photogrammeter ausgeben, ohne zu wissen, was in den Systemen richtig oder nicht richtig funktioniert. Statt mit sicherer Stereoskopie oder Korrelation wird sehr oft nur in Einzelbildern gemessen. Mit so mancher Großsoftware wächst Photogrammetrie-Kapazität in viele Branchen hinein, die nicht sicher damit umgehen können. Die Photogrammetrie wurde sogar wieder neu erfunden und als solche vom Europäischen Patentamt patentiert! Vorsicht ist also geboten. CIPA-Arbeitsgruppen sammeln Erfahrungen und Argumente, um sie weitergeben zu können.

Fotografie und digitale Bildverarbeitung wurden in Geoinformationssysteme integriert, in denen alles Ortsrelevante verknüpft wird. Die Informationstechnologie vereinigt alles zu einem digitalen System für

das Management unserer Mitwelt. Die Fotodokumentation wird Teil einer umfassenden Gesamtdokumentation, unter der wir die Vereinigung von Bild-, Ton-, Text- und Plandokumenten samt ihrer Geschichte und qualitativen Bewertung verstehen müssen, auf die man vielleicht bald jederzeit differenzierend, integrierend und analysierend zugreifen kann.

Auch im Bereich von UNESCO und ICOMOS hat sich seit der Gründung des CIPA viel verändert:

- Anfangs sprach man nur von Denkmälern, Denkmalgruppen und den Denkmalstandorten, dann kamen die Dörfer und Städte und zuletzt die Kultur- und Landschaften dazu.
- Anfangs sprach man nur vom Alten und Besonderen, den Domen und Schlössern. Nun wurden auch junge Architektur⁴, Industrie⁵ – und Verkehrsbauten mit einbezogen.

Der Trend geht klar hin zur allgemeinen Denkmal- und Mitweltpflege. Werden die Menschen doch klüger? Erkennt man auch, dass man über Generationen hinausdenken muss? Dass jeder und jede einen Teil oder Teile eines Gesamtkunstwerkes erbt, eigentlich nur geliehen bekommt, um es zu verwalten, erhalten, durch Neues zu ergänzen und schließlich weiterzugeben?

CIPA sprach anfangs nur von Aufnahme und Auswertung in einem oder mehreren Momenten, um Zustände zu erfassen. Heute spricht man in CIPA aber darüber hinaus von systematischem Monitoring zum Feststellen der Veränderungen und Trendänderungen, also der Veränderung der Veränderungen. Das Management von Kulturerbe muss ja Ursachen und Wirkungen auch wirklich analysieren können. Architekturdokumentation ist daher nicht nur eine wissenschaftliche Beschreibung eines Kunstwerkes, etwas Statisches für eine Bibliothek, sondern darüber hinaus eine Managementhilfe für seine Verwaltung, Erhaltung, Verbesserung, die dynamisch sein ganzes Sein und Werden, Erleben und Erleiden umfasst. Dem müssen die Dokumentationssysteme in Zukunft Rechnung tragen. So ist Moni-

toring-Fotografie so herzustellen, dass man die Bilder der Beobachtungsepochen auch leicht vergleichen kann. CIPA wird dem bei der Ausarbeitung neuer Dokumentations-Richtlinien Rechnung getragen.

CIPA hat auch zur Weiterentwicklung der digitalen Bildauswertesysteme Beiträge geleistet.

- ANTONIO ALMAGRO hat ein photogrammetrisches Aufnahme- und Auswertesystem von Digitalkamera und Laptop zusammengestellt, verbessert und erprobt, das als Präzisions-Feldmesssystem verwendet werden kann, wie es sich HANS FORAMITTI vor 25 Jahren für Noteinsätze nach Erdbeben gewünscht hätte.
- Es gibt Fotomodelle, die man am Bildschirm von allen Seiten betrachten kann und an denen man auch Distanzen, Winkel, Raumkoordinaten messen kann (z. B. KLAUS HANKE⁶, LIONEL DORFFNER⁷).
- Es gibt den 3 D-Navigator von SERGIO DEQUAL⁸, mit dessen Hilfe man von einem zum anderen Modell springen kann, ohne den kontinuierlichen Kontakt zum Modellauswertesystem zu verlieren.

Das sind nur Beispiele. Es gibt viel Neues und sehr Brauchbares.

Dazu sind nun Schulungskurse, Workshops anzubieten, die diese neuen professionellen Verfahren und die durch sie gebotenen Möglichkeiten in den wachsenden Fachgebieten für Denkmal- und Ortsbildpflege, Architektur und Archäologie, Umwelt- und Naturschutz bekannt machen. Dafür sollten alle zusammenarbeiten und die neuen Medien mit einbeziehen.

IT, die Informationstechnologie, erfasst alles, fasst alles zusammen, sodass die Photogrammetrie nur ein Teil von ihr ist. Geodäsie, Photogrammetrie, Laserscanning, Fernerkundung, Radar, GIS, GPS, Multimedia, sie alle zusammen bilden das Mosaik, auf dem heute alle Anwender geobogener Information stehen. Von CIPA wird weit, weit mehr gefordert als nur Normalfall-Stereophotogrammetrie, auf die es seine Begründer mit Absicht beschränken wollten. Diese Absicht war Ausdruck einer sehr weisen wirtschaftlichen Überlegung: So

einfach wie möglich, so praktisch wie möglich, so einheitlich wie möglich, auf den Bedarf ausgerichtet und für Massen-Routinearbeit geeignet. Heute sind wir wieder weit weg davon. Wir brauchen eine neue und gut organisierte Zusammenarbeit zwischen den neuen Entwicklern und den neuen Anwendern, Brücken zwischen den Fachbereichen, oder – um ein anderes Analogon zu bemühen – einen allgemein zugänglichen Markt⁹, auf dem sowohl Angebot als auch Nachfrage rasch wechseln können und die Kommunikation trotzdem funktioniert.

3 CIPA – I²DOC

Seit dem 12. CIPA Symposium in Rom (1989) wurde CIPA umorganisiert. Der erste Schritt war die Einführung von Arbeitsgruppen nach dem Muster von ISPRS. Der zweite Schritt (1992) waren neue Statuten,

- die das Komitee auf 10 Mitglieder vergrößerten,
- die die Ziele auf allen Gebieten von ICOMOS, die sich mit jenen der ISPRS irgendwie überschneiden, verbreiterten und
- die eine Ausweitung des Wirkungsbereiches auf die ganze Welt verbindlich machten.

In der darauf folgenden Periode wurden hauptsächlich Organisationen und Institute beraten, Projekte durchgeführt. Über den CIPA-Karlsplatz-Test wurde schon im vorigen Abschnitt berichtet. Symposien wurden in Polen (Krakau 1990), Griechenland (Delphi 1991) und Rumänien (Bukarest 1993) abgehalten. Die Tätigkeit blieb im Wesentlichen auf Europa sowie Canada und Südamerika beschränkt.

Mit zwei Workshops (Gross-Siegharts, Österreich, 1996, und Marstrand, Schweden, 1997) änderte sich das Komitee und stellte die Weichen für eine durchgreifende Erneuerung und Demokratisierung, die wiederum neue Statuten¹⁰ zur Folge hatten, die seit 1. August 1999 in Kraft sind. Mit diesen Statuten wurde

- das *Executive Board* auf 12 Personen erweitert, wobei zwei Society Delegates, je einer von ICOMOS und ISPRS, für die

direkte Kommunikation mit den Leitungsgremien beider Muttergesellschaften sorgen und eine Art Selbstkontrolle des CIPA ermöglichen. Sie werden auch direkt vom Executive Committee des ICOMOS bzw. vom Council der ISPRS ernannt.

- das *Executive Board* um bis zu zehn assoziierte Mitglieder erweitert, die vom Executive Board selbst gewählt werden können und nicht durch ICOMOS bzw. ISPRS bestellt werden. Diesem gehören ex officio der Webmaster und Kommunikationsleiter sowie die 4 Symposiums-Direktoren an, je zwei für das vergangene und das kommende Symposium, jeweils eine Person aus ICOMOS und eine aus IGPF. Die anderen fünf sind frei wählbar durch das ganze Executive Board. Dem Executive Board gehören (ohne Stimmrecht) auch die Ehrenmitglieder an und die Präsidenten von ICOMOS und ISPRS, die zu allen Sitzungen einzuladen sind.
- ein *Expert Advisory Board* eingerichtet, dem alle Arbeitsgruppenleiter und Koordinatoren angehören. Diesem Gremium obliegt die Betreuung von allem Technischen, wie Vorschlägen des Arbeitsprogrammes und Evaluieren aller eingereichten oder im Namen des CIPA veröffentlichten Arbeiten.
- ein *Board of Delegates* eingerichtet, das eine beratende Funktion hat und die Verbindung zu den nationalen und verbundenen Komitees bzw. Organisationen herstellt. Diesem Board gehören inzwischen (Mai 2001) 48 offiziell von ihren Gesellschaften ernannte Delegierte aus 33 Ländern an, 5 vertreten ein anderes ICOMOS-Komitee, ein Beobachter gehört zum Mitarbeiterstab des World Heritage Center der UNESCO.
- ein *Board of Sustaining Members* vorgesehen, das die Zusammenarbeit mit Industrie, Fachunternehmen und Förderern ermöglichen soll und ab dem diesjährigen Symposium in Potsdam offen ist.
- ein System von *Expert Groups* eingeführt, dem derzeit etwa 200 Mitglieder aus aller Welt angehören. Sie müssen nicht Mitglieder irgendeiner Organisation sein, aber

ausgewiesene Fachleute, sodass sie mit Recht Arbeitsgruppenmitglieder werden könnten. Diese Experten, zu denen sich natürlich auch alle Board-Mitglieder anmelden können, kommunizieren via list mail über das Internet, erhalten und geben Informationen über Wünsche oder Probleme und melden technische Fragestellungen an, die CIPA's Wirkungskreis betreffen. In unregelmäßiger Folge werden über die Mailing List auch die CIPA News, UNESCO World Heritage News und ICOMOS News etc. verteilt.

Die Arbeitsgruppen (*Working Groups* und *Task Groups*) bilden den letzten Personenkreis. Die derzeit 10 Arbeitsgruppen greifen die von den Boards empfohlenen Themen und eigene Fachbereichsthemen auf, halten Kontakt untereinander und bereiten die Veröffentlichungen für die alle zwei Jahre stattfindenden Symposien vor bzw. evaluieren die von außen eingereichten Veröffentlichungen. Auch die Arbeitsgruppen sind offen für Nichtmitglieder von ICOMOS bzw. ISPRS, womit den so genannten Eger Principles des ICOMOS voll entsprochen wird. Die Arbeitsgruppenleiter müssen Mitglieder einer der beiden Muttergesellschaften sein. Von allen ISPRS-Mitgliedern mit Funktionen im CIPA wird auch erwartet, dass sie Mitglieder des ICOMOS sind oder werden.

- genau festgelegt, welche Aufgaben den Funktionären zukommen. Präsident und Vizepräsident sind Vertreter der beiden Muttergesellschaften, der Generalsekretär übernimmt das Organisatorische usw.
- die Sprachenfrage geregelt, wonach Englisch, Französisch und Deutsch offiziell zugelassen sind, die Kommunikation innerhalb der Boards sollte aber nur in englischer Sprache erfolgen.

CIPA-I²DOC ist neu organisiert, ist auf lange Sicht für größere Aufgaben gerüstet. Die derzeit zehn Arbeitsgruppen haben ihre Arbeitsgebiete definiert und im Internet¹¹ veröffentlicht. Für die kommenden vier Jahre ist jedoch eine Neueinteilung erforderlich. Die folgende Gliederung der Arbeitsgebiete soll als erster Diskussionsvorschlag dienen.

A. Kulturgutkataster

1. Theorie und Praxis des Erfassens, Dokumentierens und des Datenmanagements zum Kulturerbe
2. Informationssysteme und Kulturerbekataster, Datenbanken, GIS, Kartographie (mit HEREIN = *Heritage Europe Information Network*)

B. Vermessung und Bauaufnahme

1. Verfahren und Systeme der Architekturphotogrammetrie
2. Andere und kombinierte Bauaufnahmefethoden
3. Spezielle bildgebende Verfahren, Photomodelle und Animation
4. Methoden der Einzelbildauswertung

C. Fotografie

1. Fotografie in der Denkmalpflege
2. Amateurfotografische Dokumentation

D. Dokumentation in speziellen Bereichen

1. Prospektion und Dokumentation in der Archäologie
2. Dokumentation und Industriearchäologie (mit *The International Committee for the Conservation of Industrial Heritage TICCIH*)
3. Dokumentation und Überwachung von Natur- und Kulturlandschaften
4. Städte und Stadtlandschaften (mit *Organization of World Heritage Cities OWHC*)
5. Ortsbilddokumentation
6. Dokumentation und Nachbildung von Museumsobjekten aus Kunst und Technik (mit *International Council of Museums ICOM*)

E. Regionale und überregionale Arbeitsgruppen

1. Byzantinistik
2. Gotische Dome
3. Islamische Kunst (mit OICC = *Organization of Islamic Capitals and Cities*)
4. Europa Nostra
5. Maya

Die „Terms of Reference“ werden neu festgelegt. Sie werden sich aus den Vorschlägen und Beschlüssen der Teilnehmer am XVIII. Internationalen Symposium des CIPA ergeben. Das Ergebnis wird sobald wie möglich im Internet veröffentlicht werden.

Da CIPA-I²DOC die einzige in ihrer Art auf eine Brückenfunktion zwischen Informationstechnik und Kulturerbe ausgerichtete Organisation ist, mehrten sich die Anfragen um eine Teilnahme bzw. Kooperation. Umgekehrt wird sich CIPA-I²DOC besonders um solche Kooperationen bemühen, um Doppelarbeit für alle vermeiden zu helfen. Einige der konkreten Aufgaben, denen sich CIPA-I²DOC in der nächsten Arbeitsperiode widmen soll, sind:

- Intensivierung der Zusammenarbeit innerhalb ICOMOS und mit UNESCO, besonders zur Qualitätssicherung und Erhaltung der Weltkulturerbestätten.
- Weitere Förderung der Sicherungsdokumentation nach MEYDENBAUER in Zusammenarbeit mit ICORP, dem *ICOMOS Committee on Risk Preparedness*.
- Ausarbeitung von Modulen für Schulungskurse (Workshops) und Zusammenarbeit mit dem *International Center for the Preservation and Restoration of Cultural Property ICCROM* in Rom und mit ICOMOS-CIF, dem *Comité International pour Formation*.
- Methodensammlung, Methodenvergleich, Demonstrationsbeispiele, Empfehlungen und technische Richtlinien für die Anwendung von Laserscanning im Bereich der Kulturgutpflege.
- Empfehlungen und technische Richtlinien für systematisches Monitoring von Natur- und Kulturlandschaften unter besonderer Berücksichtigung individueller Besonderheiten.
- Empfehlungen und technische Richtlinien für die Anwendung von GPS für die Ortsbestimmung von Denkmälern und fotografischen Dokumentationsaufnahmen auf Reisen und Expeditionen.
- Aktionen zum Denkmaltag 2002 (18. April)
- Fachliche Förderung unterstützender Mitglieder

- Zusammenarbeit, im ICOMOS bei der Evaluierung der Berichte über die periodische Prüfung der Weltkulturerbestätten
- Und viel, viel mehr.

Es war sicher richtig, von der engen Spezialisierung weg zu steuern. Das geschieht doch jetzt überall in der Wirtschaft. Auch die Firma Leica ging erst kürzlich mit ESRI und ADL eine Kooperation ein, um eine breitere Basis zu haben.

IT, die Informationstechnologie, zwingt die Behörden, einschließlich Denkmalbehörden, ihre Datenbestände kooperativ zu führen. Mit dem Vormarsch der IT sind auch die Architekten zu CAD und CAAD übergegangen. Sie zeichnen gerade Linien und kommen auch mit gleich starken Linien zurecht. Aber jetzt weiß man mehr voneinander und arbeitet in Gruppen-Büros zusammen. Die Architekturphotogrammetrie erlebt eine neue Renaissance. Nur sind heute viele Architekten selbst die Photogrammeter.

Anmerkungen

- 1 „Von Meydenbauer bis Megaplast“, Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung 2/1994, 41–56
- 2 La Photogrammétrie Architecturale en 1975 et 76, Bulletin 67 (1977/3) de la Société Française de Photogrammétrie

3 <http://www.univie.ac.at/Luftbildarchiv/wgv/3x3.htm>

4 <http://www.bk.tudelft.nl/docomomo/>

5 <http://www.museu.mnactec.com/TICCIH/>

6 Architekturphotogrammetrie: Vom Fassadenplan zur Visual Reality. Geowiss. – Mitt. TU Wien 55/2001

7 <http://www.ipf.tuwien.ac.at/veroeffentlichungen/helicopter/helicopter.pdf>

8 A New Tool for Architectural Photogrammetry: The 3 D Navigator. – Geowiss. Mitt. TU Wien 55/2001

9 R. LETELLIER & P. WALDHÄUSL, The New Framework for CIPA and its Working Groups. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXII/5, Hakodate, 1998, pp. 587–591.

10 <http://cipa.uibk.ac.at/statutes.doc>

11 <http://cipa.uibk.ac.at>

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. PETER WALDHÄUSL

Präsident des CIPA – I²DOC

Technische Universität Wien

Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung

Gusshausstrasse 27–29/122

A-1040 Wien

e-mail: pw@ipf.tuwien.ac.at

Tel.: +43-1-58801-12223

Fax: +43-1-58801-12299

<http://cipa.uibk.ac.at>,

<http://www.ipf.tuwien.ac.at>

Manuskript eingegangen: Mai 2001

Angenommen: Mai 2001

Object Reconstruction from a Single Architectural Image Taken with an Uncalibrated Camera

FRANK A. VAN DEN HEUVEL, Delft (The Netherlands)

Zusammenfassung: *Objektrekonstruktion aus einem einzelnen mit einer unkalibrierten Kamera aufgenommenen Architekturphoto.* Es wird ein linienphotogrammetrisches Verfahren zur Modellierung von Architekturobjekten aus einem Bild vorgestellt. Für die Bestimmung der Objektmodellparameter wurde eine Kleinste-Quadrate-Bündelausgleichung entwickelt. Zusätzlich zu interaktiv bestimmten Linien werden verschiedene Objektbedingungen wie Koplanarität, Parallelität und Rechtwinkligkeit eingeführt. Die Bedingungen erhöhen die Qualität der Objektparameterbestimmung und verringern die Zahl der erforderlichen Linienbeobachtungen. Hier wird der Extremfall behandelt, bei dem die Zahl der Bilder auf eines reduziert ist.

Die Parameter der inneren Orientierung des Einzelbildes werden in einer getrennten Ausgleichung bestimmt. Das mathematische Modell beruht auf Parallelität und Rechtwinkligkeit von Linien, die durch einen Algorithmus für Linienwachstum gewonnen werden. Dazu wird ein Verfahren zur Auffindung von Fluchtpunkten eingesetzt. Nach erfolgreicher Bestimmung von Fluchtpunkten benötigt die Berechnung der inneren Orientierung keine interaktiven Eingriffe.

Das Verfahren wird beispielhaft zur teilweisen Rekonstruktion eines zerstörten Gebäudes aus einem einzelnen Bild des Meydenbauer-Archivs angewandt. Die innere Orientierung des Bildes war unbekannt. Es zeigt sich, dass das Verfahren für diese Art von Bildern sehr gut geeignet ist. Die erreichte Genauigkeit für die Objektrekonstruktion wird abgeschätzt.

Summary: This paper reports on a line-photogrammetric approach for modelling architectural objects using a single image. For the estimation of the object model parameters a least-squares bundle adjustment is developed. In addition to the manually derived image line observations several constraints on the object parameters are incorporated in the adjustment. Coplanarity, parallelism, and perpendicularity are examples of these constraints. The constraints improve the quality of the estimated object parameters and reduce the number of image line observations required. This paper concentrates on the extreme case where the number of images required for reconstruction is reduced to one.

The interior orientation parameters of the single image are determined in a separate least-squares adjustment. The mathematical model of this adjustment is based on parallelism and perpendicularity constraints on image line observations that are extracted using a line-growing algorithm. These constraints result from a vanishing point detection procedure. With successful vanishing point detection the determination of the parameters of the interior orientation does not require manual interaction.

As an example, the approach is applied for the reconstruction of part of a demolished building using a single image from the Meydenbauer archives. The interior orientation of the image was unknown. It is concluded that the approach is very suitable for this type of imagery and results in a partial reconstruction of which the precision is assessed.

1 Introduction

The research reported in this paper concentrates on object modelling in architectural photogrammetry. The main goal is to exploit the characteristics of this application in order to allow object modelling from a

minimum number of images, and assess the quality of the resulting object model. The latter is especially important when redundancy is low which is even more likely to occur when only a single image is used. However, in architectural photogrammetry sufficient object information can generally

be inferred from the image for an estimation of the object model parameters with considerable redundancy. This holds true, even for reconstruction from a single image, as is illustrated by the example presented in section 4.

The main characteristic of the application is the availability of object information that results from knowledge or assumptions on the construction of the building. The object information applied in the approach presented in this paper is split into three groups:

1. *Object edges are straight.* When lens distortion is absent, straight object edges result in straight line features in the image. Especially in architectural photogrammetry line features show advantages over point features for measurement (STREILEIN 1998, VAN DEN HEUVEL 2000). Therefore, only line features are used as photogrammetric observations.
2. *Object faces are planar.* In fact, this type of object information relates to the previous type as the intersection of two planar faces leads to a straight edge. This object information implies that a polyhedral 'boundary representation' or B-rep is a suitable type of representation for the object at hand. In this representation the object edges and faces intersect in the object points. To ensure a valid B-rep, object constraints are used that force the points into the planes.
3. *Object shape constraints.* The main constraints used are:
 - Parallelism of object edges and faces
 - Perpendicularity of object edges and faces
 - Coplanarity of object points and faces
 - Symmetry of object edges

Control points, i.e. object points with known co-ordinates, are not required, other than a minimum set for defining a co-ordinate system. It is possible to include known distances between two points or between two parallel planes.

The use of a priori object information as outlined above distinguishes this approach from other ones. Here, the term line-photogrammetry is applied because the line fea-

tures in the images are the observations. However, there is no explicit parameterisation for the edges in object space as in many other line-photogrammetric approaches (MULAWA & MIKHAIL 1988, ZIELINSKI 1993, PATIAS et al. 1995, SCHWERMANN 1995). The main reasons for not using object line parameters are the large number of object constraints required for a valid B-rep, in combination with the complexity of the formulation of these and other object constraints.

Assumptions on the shape of the building are applied in the reconstruction in the form of weighted constraints. The need for object constraints also results from the use of a polyhedral B-rep for model representation. The so-called point-in-plane constraint (section 4.1) ensures planar faces. Other methods refrain from the use of shape constraints and therefore these methods require multiple images (STREILEIN 1998) or an image sequence (POLLEFEYS et al. 2000).

Object reconstruction from measurements in a single image is frequently investigated by researchers from the computer vision community (BRÄUER-BURCHARDT & VOSS 1999, GUILLOU et al. 2000, JELINEK & TAYLOR 1999, LIEBOWITZ et al. 1999, STURM & MAYBANK 1999), and less in the photogrammetric community (WILLIAMSON & BRILL 1990, BRAUN 1994, KARRAS & PETA 1999). The *International Committee for Architectural Photogrammetry* (CIPA) established a task group on the topic (CIPA-TG2 2001). All methods use at least parallelism and perpendicularity information of edges in object space. Sometimes edge detectors are used to extract the line features in the image. However, manual interaction is often required, especially for the extraction of edges needed for object reconstruction. It is beyond the scope of this paper to discuss the differences between the various approaches. The main difference of the approach presented in this paper and approaches found in the literature is the application of a rigorous least-squares adjustment for the parameter estimation for the camera calibration as well as for the object reconstruction. This adjustment facilitates error propagation and

simplifies the assessment of the quality of the results.

The line-photogrammetric bundle adjustment for multiple images was developed a few years ago (VAN DEN HEUVEL 1999 a). The application of this bundle adjustment to line observations in a single image is new. For single image bundle adjustment the approximate value computation for the object parameters needs special attention (section 4.2). The main reason is that the parameters cannot be approximated by forward intersection with two or more images. Furthermore, new object shape constraints are implemented.

Previous research on single image object reconstruction concentrated on the adjustment of condition equations that contain no object parameters (VAN DEN HEUVEL 1998 b). Object reconstruction (i.e. the computation of the parameters of the object model) was done in a separate step using the adjusted image line observations and object constraints. This approach does not result in a unique solution for the object model in all cases. Another disadvantage is that error propagation is cumbersome due to the separate object reconstruction step. Therefore, the quality of the object model cannot be assessed as with a weighted bundle adjustment with parameters. Furthermore, the object constraints in the form of condition equations on the line observations are complex for many types of constraints. However, its advantage is that approximate values for object parameters are not required.

The rest of this paper is structured as follows. Section 2 gives an overview of the method. The camera calibration from a single image is presented in section 3, and the object reconstruction in section 4. The method is applied to a scanned reproduction from the Meydenbauer Archives. The results are discussed in sections 3.3.3 and 4.3. Conclusions are drawn in section 5.

2 Overview of the method

The developed method for object reconstruction from a single image with unknown interior orientation consists of two main

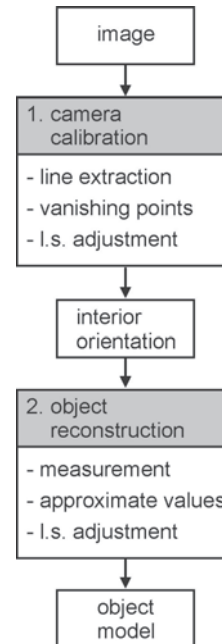


Fig. 1: Overview of the procedure for single image object reconstruction.

steps (Fig. 1). The first step is a highly automated procedure for the least-squares estimation of the interior orientation parameters including lens distortion. The mathematical model is built from parallelism and perpendicularity object constraints on straight edges in the image. The edges are extracted using a line-growing algorithm. The constraints result from a vanishing point detection procedure that also does not require manual interaction.

In the second step manual measurements are required to extract edges in the image that correspond to object edges. Furthermore, object information such as topology and shape constraints is to be inferred from the image. After computation of approximate values, a bundle adjustment is used to adjust the line observations and estimate the parameters of the object model, and the exterior orientation. Interior orientation parameters from the first step are not estimated in the latter adjustment because high correlations with the exterior orientation parameters would deteriorate the solution, and is

even likely to prohibit convergence of the iterative procedure. Furthermore, it is not expected that the precision of the interior orientation parameters can be improved in the second step, assuming a correct constraint specification by the vanishing point detection procedure. The types of object constraints used in the first step are also used in the second step, supplemented with other types of object constraints such as symmetry constraints. However, the image line observations are different in both steps.

3 Camera calibration

In the first step of the procedure the interior orientation parameters of the single image are determined from edges extracted using image processing. Section 3.1 deals with the edge extraction and the representation of an edge in the mathematical model. In section 3.2 the vanishing point detection method is discussed. This can be regarded as a procedure for grouping edges that have the same orientation in space. This information is used for the formulation of condition equations that build the mathematical model. The estimation of the interior orientation parameters using this model is discussed in section 3.3.

3.1 From edge extraction to observations

In the approach presented here, lines in the image plane serve as observations in the mathematical models, and not points as in conventional photogrammetry. The method for line extraction is briefly discussed in the next section. The parameterisation of the image lines and the options for the stochastic model are presented in the sections thereafter.

3.1.1 Edge extraction by line-growing

Edges are automatically extracted by applying a line-growing algorithm that is summarised as follows. The line-growing process starts at seed points in the image where the gradient is above a pre-set threshold. The algorithm searches in the direction indicated

by the gradient for pixels that sufficiently match the seed point pixel in gradient strength and orientation. The neighbouring pixels that match the criteria are added to the pixels of the line. A line is fitted to the gathered pixels and the growing process is continued. When no more pixels can be added to the line, the resulting fitted line – specified by its endpoints – is checked against a pre-set minimum line length. The number and length of extracted straight image lines depends on the parameters such as the minimum gradient strength and the minimum line length.

For the estimation of the interior orientation parameters only lines extracted with this line-growing algorithm are used. No manual measurements are required.

3.1.2 The interpretation plane

A straight line in the image can be parameterised in several ways. Although two parameters suffice for the representation of an image line, the four image co-ordinates (x, y) of the end points are used here. This guarantees a singularity-free representation, and simplifies the formulation of the stochastic model.

Like a point in the image is associated with a ray in space, a line in the image is associated with a plane in space. This plane is called the interpretation plane (Fig. 2).

Assume a perfect central projection with the principal point in the centre of the image, and focal distance f . The orientation of the

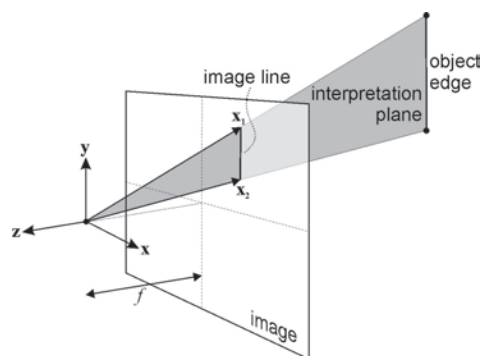


Fig. 2: A line in the image and its associated interpretation plane.

interpretation plane is defined by its normal vector (\mathbf{n}) that is constructed from the two vectors from the projection centre to the endpoints of the line (\mathbf{x}):

$$\mathbf{n} = \mathbf{x}_1 \times \mathbf{x}_2, \text{ with: } \mathbf{x} = (x, y, -f) \quad (1)$$

The calibration procedure is started with a rough approximation for the focal length.

3.1.3 The stochastic model

The stochastic model plays an important role in the quality assessment of the parameters estimated by a weighted least-squares adjustment. To set up the covariance matrix (\mathbf{Q}) of the observations two options have been implemented:

1. The variances of the co-ordinates of the endpoints decrease linearly with the length of the line in pixels.
2. The variance is constant for all endpoint co-ordinates.

The first model is designed for lines extracted using an edge detection approach. The second model is used for lines that are extracted manually by measurement of their endpoints. For the tests described in this paper only the latter model is applied.

3.1.4 Example

Fig. 3 shows the image that is used to illustrate the methods presented in this paper. It is a low resolution scan (1200×865 pixels) of a reproduction of a photograph by ALBRECHT MEYDENBAUER taken in the year

1911. It depicts a building in the historical centre of Berlin called “Kommandantur”. This building no longer exists like many other buildings in the historical centre. There is a need for reconstruction using the photographs from the Meydenbauer Archives such as this one (WIEDEMANN et al. 2000). In Fig. 3 (right) the lines extracted using the line-growing algorithm presented in section 3.1.1 are overlaid with the image. The extraction was limited to the part of the image that contains the building. 223 lines were extracted with the minimum line length set to 40 pixels.

3.2 Vanishing point detection

When straight image lines have been extracted the parameters of interior orientation are determined by applying two types of object constraints. First, parallelism assumptions of object edges are applied. Second, perpendicularity is used of the three major object orientations defined by three groups of parallel edges. When lens distortion is absent, the projections of object edges that are parallel intersect in a point in the image called the vanishing point (Fig. 4). With the detection of a vanishing point the parallelism of the related object edges is assumed.

The method for vanishing point detection was designed to make use of the assumption of perpendicularity between the three main object orientations (VAN DEN HEUVEL 1998 a). However, when principal point and effective focal length are unknown only parallelism assumptions can be used in the va-

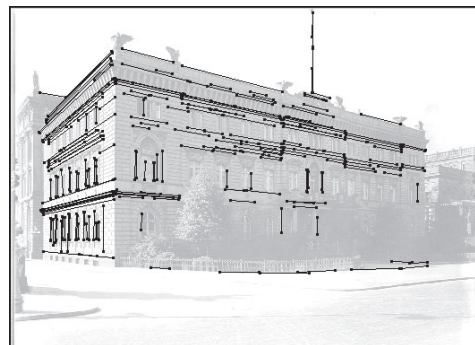


Fig. 3: The Meydenbauer image (left) and the automatically extracted image lines (right).

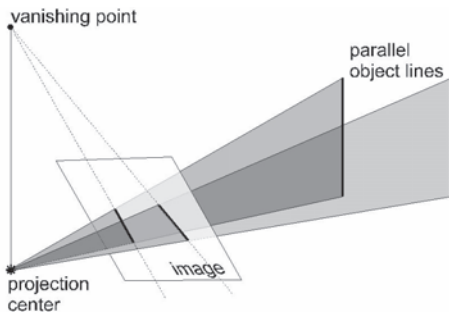


Fig. 4: Vanishing point as the intersection of the projections of parallel lines in object space.

vanishing point detection procedure. Projections of parallel object edges intersect in a vanishing point independent of the location of the principal point or the focal length. The perpendicularity assumption is introduced to allow the estimation of the interior orientation parameters (section 3.3).

3.2.1 Intersection of three interpretation planes

The method for vanishing point detection is based on the statistical testing of the intersection hypotheses of combinations of three image lines, or rather the intersection of the three interpretation planes associated with these lines. The intersection constraint can be written as the determinant of the matrix built from the three normal vectors (\mathbf{n}) of the interpretation planes i , j , and k :

$$[\mathbf{n}^i, \mathbf{n}^j, \mathbf{n}^k] = \det(\mathbf{n}^i, \mathbf{n}^j, \mathbf{n}^k) = 0 \quad (2)$$

In case the lines do not (perfectly) intersect this constraint will result in a misclosure (m):

$$[\mathbf{n}^i, \mathbf{n}^j, \mathbf{n}^k] = m \quad (3)$$

The hypothesis of interpretation plane intersection is tested with the normalised misclosure relative to a critical value (c_v)

$$\left| \frac{m}{\sigma_m} \right| < c_v \quad (4)$$

The standard deviation of the misclosure (σ_m) is computed from the covariance ma-

trix of the image co-ordinates \mathbf{Q} (section 3.1.3):

$$\sigma_m^2 = \mathbf{b}^T \mathbf{Q} \mathbf{b} \quad (5)$$

with \mathbf{b} the vector of partial derivatives. The part of \mathbf{b} for image point a can be written as:

$$\mathbf{b}^a = \frac{\partial m}{\partial \mathbf{n}^i} \frac{\partial \mathbf{n}^i}{\partial \mathbf{x}^a} \quad (6)$$

3.2.2 The procedure for vanishing point detection

The procedure for the detection of the vanishing points is summarised as follows:

- The longest of all available image lines is chosen as the first line of the vanishing point.
- The test values of all combinations of this longest line and two other image lines are computed according to (4).
- Lines are clustered using the results of the testing. This usually results in several clusters that often have a large number of lines in common.
- For the largest clusters an adjustment is set up, based on all (independent) constraints in the cluster and a line error hypothesis is tested for each line.
- Rejected lines are removed from the clusters and the adjustment is repeated until all remaining lines are accepted.
- The cluster with the largest number of lines is selected as the first vanishing point cluster.

The procedure is repeated with the remaining (non-clustered) lines to detect the other two vanishing points. More details on this procedure are found in (VAN DEN HEUVEL 1998 a).

3.2.3 Example

The result of the vanishing point detection procedure applied to the extracted lines of the Meydenbauer image is shown in Fig. 5. The upper most image corresponds to the first vanishing point and contains the longest line (264 pixels). A few lines of this vanishing point do not correspond to object

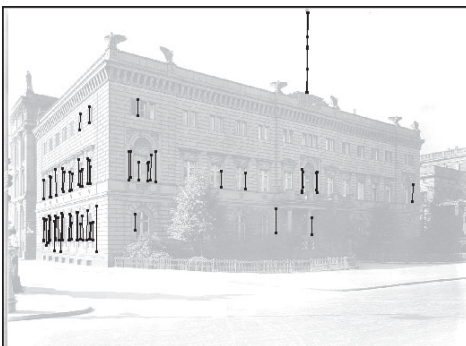
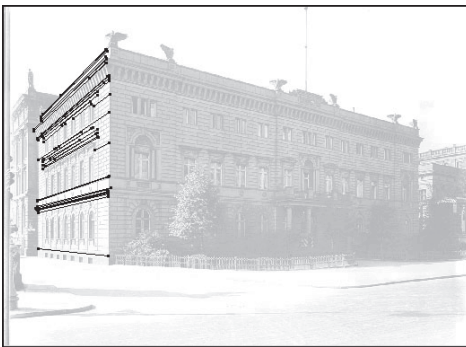
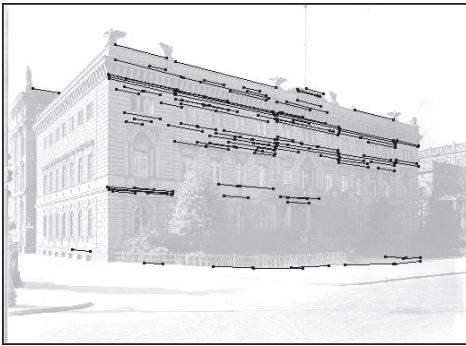


Fig. 5: Result of detection of three vanishing points.

edges with the same orientation, but were not removed. All extracted lines were assigned to one of the three vanishing points. The number of lines of the first, second, and third vanishing point is respectively 117, 42, and 64. Note that the third vanishing point is at infinity in the image plane. In other words, the image is in a two-point perspective (WILLIAMSON & BRILL 1990). In the current implementation, the interior orientation param-

eters are input to the procedure. It has been verified that the vanishing point detection is not affected by a change in these parameters. With an a priori standard deviation of 1 pixel (constant value for the end-point co-ordinates of an image line) the estimated variance factor of the adjustment of all parallelism constraints is 0.576.

3.3 Interior orientation parameter estimation

3.3.1 The mathematical model with parameters

To build the mathematical model for the least-squares parameter estimation two types of constraints are applied, i.e. parallelism and perpendicularity constraints. The constraints are specified automatically using the vanishing point detection algorithm described in the previous section. There, only the parallelism constraint is used and the mathematical model does not contain parameters. Now the model is extended with the interior orientation parameters and (1) becomes:

$$\mathbf{x} = \begin{pmatrix} x - x_o - k_1(x - x_o)r^2 \\ y - y_o - k_1(y - y_o)r^2 \\ -f \end{pmatrix} \quad (7)$$

with:

f : effective focal length

x_o, y_o : co-ordinates of the principal point

k_1 : radial lens distortion parameter

$$r^2 = (x - x_o)^2 + (y - y_o)^2$$

If required, lens distortion can be modelled more extensively.

The perpendicularity constraints involve the interpretation plane normals of four lines, consisting of two perpendicular sets (1 and 2) of two lines that are parallel in object space. This constraint can be written as:

$$(\mathbf{n}_1^i \times \mathbf{n}_1^j) \cdot (\mathbf{n}_2^k \times \mathbf{n}_2^l) = 0 \quad (8)$$

In order to set up a least-squares adjustment, equations (2) and (8) are linearised with respect to both parameters and the ob-

servations. This leads to a so-called mixed model (TEUNISSEN 1999):

$$\mathbf{B}^T E\{\mathbf{y}\} = \mathbf{A} \mathbf{x}; \mathbf{Q}_y \quad (9)$$

with:

$E\{\cdot\}$ expectation operator

\mathbf{y} vector of the observations (observed – computed)

\mathbf{x} vector of corrections to the parameters

\mathbf{A}, \mathbf{B} design matrices (partial derivatives)

\mathbf{Q}_y covariance matrix of the observations (section 3.1.3)

The constraints used for the model (9) have to be independent in order to compute the solution as described in the next section. This is achieved in the following way. First, for each object orientation the two image lines are selected that best define the object orientation. Let us call these two lines the *base* lines. Then for each of the $n-2$ remaining lines of that orientation, parallelism constraints are set up according to (2) (n is the number of lines in a cluster of parallel lines). Each constraint involves three lines, two of which are the base lines. In this way, $n-2$ independent constraints are defined for each object orientation. Second, only three perpendicularity constraints are set up according to (8). These constraints are formulated using the base lines of each object orientation that have been used for the parallelism constraints as well. The three independent constraints define perpendicularity between three combinations of two object axes (XY , YZ , and ZX).

3.3.2 Parameter estimation

The system of equations (9) is transformed into a standard system of observations equations by the introduction of the so-called derived observations (\mathbf{z}):

$$E\{\mathbf{z}\} = \mathbf{A} \mathbf{x}; \mathbf{Q}_z \quad (10)$$

with:

$$E\{\mathbf{z}\} = \mathbf{B}^T E\{\mathbf{y}\}; \mathbf{Q}_z = \mathbf{B}^T \mathbf{Q}_y \mathbf{B}$$

The full covariance matrix \mathbf{Q}_z of the derived observations results from propagation of the diagonal covariance matrix of the obser-

vations \mathbf{Q}_y . The least-squares solution to the system (10) is well known:

$$\hat{\mathbf{x}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{Q}_z^{-1} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{Q}_z^{-1} \mathbf{z} \quad (11)$$

The computation of the residuals of the original observations is explained in (VAN DEN HEUVEL 1999 a).

Since the mathematical model is non-linear in both the parameters and the observations, the iteration process needs special attention. Convergence has to be obtained by iterating in the parameters first to avoid a solution that is biased by the approximate values of the parameters. After that, iteration in both the parameters and the observations leads to a set of parameters and observations that fit the model.

In the presence of considerable lens distortion the solution is to be computed in two steps (VAN DEN HEUVEL 1999 b). In the first step the lens distortion is estimated. In the second step the interior orientation parameters are estimated using the results of the first step.

3.3.3 Example

The procedure for estimation of interior orientation parameters is applied to the Meydenbauer image, using the results of the vanishing point detection for the specification of the parallelism and the three perpendicularity constraints. Trying to estimate the three interior orientation parameters using the adjusted observations from the vanishing point detection, a correlation of close to a 100% between the focal length and the principal point x co-ordinate appears. This is due to the two-point perspective (section 3.2.3). Fixing the principal point in the middle of the image in column direction, the estimation of the two remaining parameters converged in five iteration steps. Convergence is not sensitive to the approximate values. For both parameters starting values were more than 150 pixels different from the solution presented in Tab. 1. Formal standard deviations are based on the a priori standard deviation of 1 pixel for the endpoints of the image lines. Using the original line observations the estimated variance fac-

Tab. 1: Estimated interior orientation parameters (in pixels).

Interior orientation (pixels)	Original observations		Adjusted observations	
	Parameter	Standard deviation	Parameter	Standard deviation
Principal point y	586	12.3	601	12.8
Focal length	1131	10.7	1152	9.4

tor is 0.588 (218 degrees of freedom), close to the value of the vanishing point adjustment (section 3.2.3). Estimation of the radial lens distortion parameter k_1 results in a value of 0.30×10^{-3} , only 2.5 times its standard deviation.

4 Object reconstruction

The line-photogrammetric bundle adjustment was developed for the estimation of the parameters of a boundary representation from the image line observations of multiple images (VAN DEN HEUVEL 1999 a). In this section, first an overview of the line-photogrammetric bundle adjustment is presented (section 4.1). Approximate values for the parameters are required because of the non-linearity of the model. Especially in the case of single image processing, approximate value computation needs special attention (section 4.2). The application of the presented bundle adjustment procedure on the Meydenbauer image is discussed in section 4.3.

4.1 Overview of the line-photogrammetric bundle adjustment

The mathematical model of the line-photogrammetric bundle adjustment relates the image line observations (section 3.1) to the parameters of the object model. Although usually only the co-ordinates of the points represent the geometry of a B-rep, in this approach also the parameters of the object planes are incorporated in the model. The reason is the simplicity of the formulation of geometric object constraints. Two groups of parameters can be distinguished, (1) object model parameters (points and planes) and (2) exterior orientation parameters. Interior orientation parameters are not esti-

mated and have to be determined beforehand (section 3).

Over-parameterisation is applied in combination with constraints to avoid singularities inherent in some parameter choices. Four parameters are used for each object plane, i.e. the normal vector of the plane and a position parameter. The position is the perpendicular distance of the plane to the origin. A constraint is used to force the normal vector length to 1. The rotation matrix of exterior orientation is parameterised by four parameters of a quaternion. The length of the vector of the quaternion elements is constrained to 1.

The basic relation of the line-photogrammetric bundle adjustment is the point-in-plane constraint. First, there is an *object point in interpretation plane* constraint (Fig. 6). Second, the *object point in object plane* constraint is formulated that is very similar to the first one.

For the object point in interpretation plane constraint the normal vector to the interpretation plane is rotated into the object co-ordinate system by applying the rotation matrix of exterior orientation (\mathbf{R}), and (1) becomes for line i :

$$\mathbf{n}_i = \mathbf{R}(\mathbf{x}_1 \times \mathbf{x}_2) \tag{12}$$

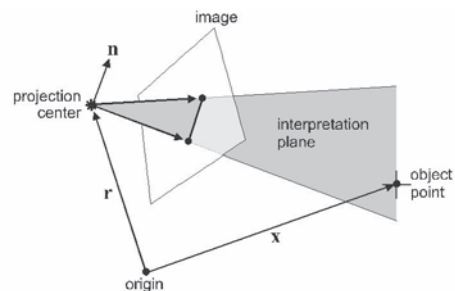


Fig. 6: Object point in interpretation plane.

With the vector to the projection centre (\mathbf{r}) and the vector to the object point (\mathbf{x}), the object point in interpretation plane constraint for image line i is written as:

$$\mathbf{n}_i \cdot \mathbf{x} - \mathbf{n}_i \cdot \mathbf{r} = 0 \quad (13)$$

With the (signed) plane position parameter l_i the object point in object plane constraint becomes:

$$\mathbf{n}_i \cdot \mathbf{x} - l_i = 0 \quad (14)$$

Equation (13) relates the observations to the object point parameters, while (14) relates the object point parameters to the object plane parameters. With more than three points in a plane, the latter constraint enforces coplanarity of object points. It is important to note that object faces that are coplanar share the same plane parameters.

A number of object shape constraints have been implemented that will not be discussed in detail here. In (HRABACEK & VAN DEN HEUVEL 2000) the formulation of most of them is presented:

- Points: coplanarity (14), distance between two points, and co-ordinates of control points.
- Lines: parallelogram, symmetry constraint (section 4.2).
- Planes: angle, parallelism, and distance between two planes.

All constraints have been implemented as weighted observation equations. This has the advantage that realistic weights can be used for instance for the shape constraints, and thus uncertainty in the constraints is taken into account. Furthermore, constraints do not have to be independent. The relations that build the mathematical model are non-linear in the parameters and non-linear in the observations. The least-squares solution to this model is discussed in section 3.3.

4.2 Measurement and approximate value computation

Only a few of the lines extracted using the line-growing algorithm described in section 3.1.1 are suitable for object modelling and

correspond to the edges of the building facades. Many other edges show poor contrast in the image. Therefore, manual interaction is required. Not only for line measurement, but also for the specification of the topology of the B-rep, and object shape constraints.

Approximate values of all parameters have to be available to set up the linearised observation equations. With the image line measurements, object topology, and shape constraints available, the approximate values are computed in the following order:

- 1 Exterior orientation parameters
- 2 Object point parameters
- 3 Object plane parameters

The last two steps are then repeated until no new parameters are computed.

In the first step the direct solution that is presented in (VAN DEN HEUVEL 1997) is used to compute the exterior orientation parameters based on the measurement of 4 points (or lines) that correspond to a rectangle in object space. For the second step all available linear equations that contain the object co-ordinates are gathered. These equations relate to the following constraints:

- *Point in interpretation plane.* The exterior orientation parameters as well as the interpretation plane normals are regarded as constants and thus equation (13) becomes linear in the object point co-ordinates.
- *Point in object plane.* When step 2 is repeated, object plane parameters are available from step 3. Regarding them as constants, also (14) becomes linear in the co-ordinates.
- *Control point co-ordinates.* These linear equations are of the form $\mathbf{x} - \mathbf{x}_c = 0$, where \mathbf{x}_c is the vector of control point co-ordinates.
- *Parallelogram equations.* These equations relate the four corner points of a parallelogram in object space, and have the simple linear form $(\mathbf{x}_1 - \mathbf{x}_2) - (\mathbf{x}_3 - \mathbf{x}_4) = 0$.

Apart from the control point constraint, all these constraints are independent of the choice of the co-ordinate system. This is not

the case for the symmetry constraint. This constraint has the same form as the parallelogram constraint, apart from the fact that the vector $(\mathbf{x}_3 - \mathbf{x}_4)$ is mirrored with respect to the XY, YZ, or XZ plane. In the current implementation this constraint is only used for object reconstruction.

The computation of approximate plane parameters is based on (14) only. Then the point co-ordinates from step 2 are treated as constants, and (14) is linear in the plane parameters. Plane parameters can be computed when the co-ordinates of at least three points are available. Similarly, object point co-ordinates can be computed when three or more planes are available. These planes can be interpretation planes as well as object planes.

4.3 Example

In Fig. 7 the manual measurements are overlaid on the Meydenbauer image. Closed polygons are measured through their corner points of which the image co-ordinates are stored. Each corner point is an endpoint of at least two individual image lines and relates to one point in object space. Each closed polygon is associated with an object face and each image line with an interpretation plane (Fig. 2). In this way the topology of the polyhedral B-rep is specified together with the relations between image measurements and object points.

In this approach only object parts (parts of building faces) that are visible in the image are reconstructed. As in the multiple image example described in (VAN DEN HEUVEL,

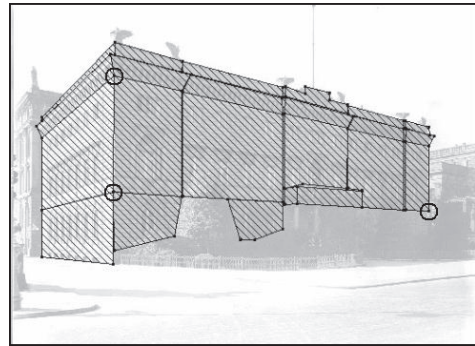


Fig. 7: Manually measured points, lines, and faces.

1999 a), some occluded object parts can be reconstructed with only one image also, but this has not been investigated here.

In Tab. 2 the number of image and object features, and the related number of parameters and equations are listed. This table also contains an overview of the object constraints that were inferred from the image and the precision that was assigned to them. Although 29 faces were specified, for only 12 planes there are parameters in the model. In this way coplanarity of several faces is enforced. In Fig. 7 three control points are indicated by circles. Six co-ordinates of these points have been fixed. The distance between the two points on the front of the building was derived from a cadastral map (41.39 m), and processed as a distance constraint. In this way the co-ordinate system is fixed with minimum control. The estimated variance factor is 0.535 with an a priori standard deviation for the endpoints of the

Tab. 2: Parameters and equations in the adjustment.

	number	parameters	equations	precision (σ)
image lines	100	–	152	\mathbf{Q}_z (10)
distance	1	–	1 (control)	0.1 m
object points	76	228	6 (control)	0.001 m
object planes	12	48	12	10^{-6}
image orientation	1	7	1	10^{-6}
point-in-plane	–	–	123	0.01 m
plane angles	11	–	11	0.1 deg
parallelogram	15	–	45	0.01 m
symmetry	6	–	18	0.01 m
totals		283	369	

Tab. 3: Precision of the object points (σ in meter).

Standard deviation (m)	X	Y	Z
Average	0.080	0.095	0.055
Minimum	0.013	0.008	0.022
Maximum	0.135	0.384	0.127

lines of 1 pixel (86 degrees of freedom). The formal standard deviations of the object coordinates (excluding control points) are summarised in Tab. 3. Note that the standard deviations depend on the control point choice, and the applied shape constraints and their weights. The largest residual to an endpoint co-ordinate is 2.0 pixel. Reliability parameters are not computed. However, it is noted that for some observations there is no redundancy and thus reliability is absent.

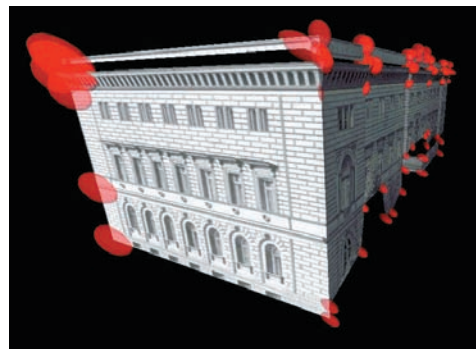
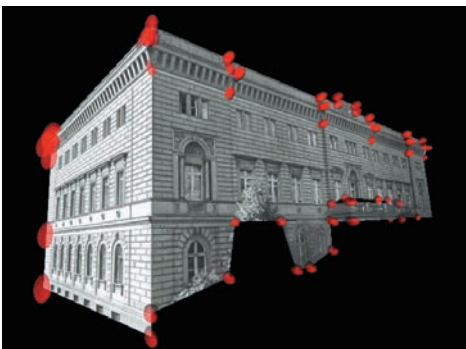
The estimated exterior orientation parameters show that the photograph was taken at a distance of 34.5 m (σ 0.17 m) from the corner of the building at a height of 1.78 m (σ 0.08 m) above the lowest (ground) points of the object model.

The determined boundary representation is converted to VRML-format with textures derived from the image by a rectification for each face. Two views of the resulting object model are shown in Fig. 8. The error ellipsoids are enlarged with a factor 10 relative to the model and visualise the covariance matrices of the object points. The model is available on the Internet (MEYDENBAUER 2001).

5 Conclusions

Methods are presented for camera calibration and object reconstruction from line measurements in a single image. No manual measurements are required for the procedure for camera calibration when vanishing point detection is successful. The parameters of interior orientation are estimated in a least-squares adjustment from image lines extracted by line-growing. The mathematical model is built with independent constraint equations that are non-linear in the parameters as well as in the observations. A vanishing point detection algorithm infers the constraints. Applying the calibration procedure to a historical image of a building, the position of the principal point could not be estimated in column direction due to the two-point perspective. Estimation in row direction showed the principal point is more than 150 pixels below the centre of the image. The formal standard deviation of the principal point is 12 pixels. The precision of the focal length is 11 pixels.

In the procedure for object reconstruction the point and plane parameters of a B-rep are estimated together with the parameters of exterior orientation using a line-photogrammetric bundle adjustment. The adjustment model is built from point-in-plane constraint equations that relate the image line measurements to the object co-ordinates, and the co-ordinates to the plane parameters. Furthermore, the topology of the B-

**Fig. 8:** Two views on the texture mapped model (error ellipsoids enlarged with a factor 10).

rep and several object shape constraints are incorporated in the least-squares adjustment through weighted observation equations. Adjustment of 100 image lines (standard deviation of endpoints set to 1 pixel) and 32 shape constraints resulted in the 3 D co-ordinates of 76 points with an average precision between 5 and 10 cm.

The paper demonstrates the potential of a single image with unknown interior and exterior orientations for partial reconstruction of architectural objects. All parameters involved are estimated using a least-squares adjustment that facilitates the assessment of their precision. If available, more images with possibly different interior orientations can be included in the adjustment. A more complete reconstruction of higher quality will be the result.

References

- BRAUN, C., 1994: Interpretation and correction of single line drawings for the reconstruction of objects in space. – ISPRS Commission III, **2357**: 85–90, Munich
- BRÄUER-BURCHARDT, CH. & VOSS, K., 1999: Monocular 3 D-reconstruction of buildings. – In: GIROD, B., NIEMANN, H. & SEIDEL, HP. (eds.): VMV '99, Infix, 109–116.
- CIPA-TG2, 2001: http://info.uibk.ac.at/sci-org/cipa/tg2_1.html, accessed May 14, 2001.
- GUILLOU, E., MENEVEAUX, D., MAISEL E. & BOUATOUCH, K., 2000: Using vanishing points for camera calibration and coarse 3 D reconstruction from a single image. – *The visual computer*, **16**: 396–410, Springer.
- HEUVEL, F.A. VAN DEN, 1997: Exterior Orientation using Coplanar Parallel Lines. – 10th Scandinavian Conference on Image Analysis, 71–78, Lappeenranta.
- HEUVEL, F.A. VAN DEN, 1998 a: Vanishing point detection for architectural photogrammetry. – *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, **32** (5): 652–659, Hakodate.
- HEUVEL, F.A. VAN DEN, 1998 b: 3 D reconstruction from a single image using geometric constraints. – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **53** (6): 354–368.
- HEUVEL, F.A. VAN DEN, 1999 a: A Line-photogrammetric mathematical model for the reconstruction of polyhedral objects. – *Video-metrics VI*, 28–29 Jan. 99, San Jose, Proceedings of SPIE, Vol. 3641, 60–71.
- HEUVEL, F.A. VAN DEN, 1999 b: Estimation of interior orientation parameters from constraints on line measurements in a single image. – *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, **32** (5W11), 81–88, Thessaloniki.
- HEUVEL, F.A. VAN DEN, 2000: Line-photogrammetry and its application for reconstruction from a single image. – 19. Jahrestagung der DGPF, Essen, Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, **8**: 255–263.
- HRABACEK, J. & VAN DEN HEUVEL, F.A., 2000: Weighted geometric object constraints integrated in a line-photogrammetric bundle adjustment. – *IAPRS*, **33**, B5: 380–387, Amsterdam.
- JELINEK, D. & TAYLOR, C.J., 1999: Reconstruction of linearly parameterized models from single images with a camera of unknown focal length. – *CVPR'99*, Fort Collins, Vol. **2**: 346–352.
- KARRAS, G.E. & PETSAS, E., 1999: Metric information from uncalibrated single images. – *Proceedings XVII CIPA Symposium October 99*, Recife/Olinda, Brazil.
- LIEBOWITZ, D., CRIMINISI, A. & ZISSERMAN, A., 1999: Creating architectural models from images. – *Eurographics'99*, **18** (3): 39–50.
- MEYDENBAUER, 2001: <http://www.geo.tudelft.nl/frs/architec/Meydenbauer/>, accessed May 14, 2001.
- MULAWA, D.C. & MIKHAIL, E.M., 1988: Photogrammetric treatment of linear features. – *IAPRS*, **27**, B10: 383–393.
- PATIAS, P., PETSAS, E. & STREILEIN, A., 1995: *Digital Line Photogrammetry*. – IGP Bericht 252, ETH Zürich.
- POLLEFEYS, M., KOCH, R., VERGAUWEN, M. & VAN GOOL, L., 2000: Automated reconstruction of 3 D scenes from sequences of images. – *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, **55**, 4, 251–267, Elsevier.
- SCHWERMANN, R., 1995: *Geradengestützte Bildorientierung in der Nahbereichsphotogrammetrie*. – Veröffentlichung des Geodätischen Institutes der RWTH Aachen, Vol. 52.
- STREILEIN, A., 1998: *Digitale Photogrammetrie und CAAD*. – Dissertation Nr. 12897, ETH Zürich.
- STURM, P.F. & MAYBANK, S.J., 1999: A method for interactive 3 D reconstruction of piecewise planar objects from single images. – *BMVC 10th British Machine Vision Conference*, Nottingham, England, 265–274.

- TEUNISSEN, P.J.G., 1999: Adjustment Theory – an Introduction. – Delft University Press, Delft, ISBN 90-407-1974-8.
- WIEDEMANN, A., HEMMLEB, M. & ALBERTZ, J. 2000: Reconstruction of historical buildings based on images from the Meydenbauer archives. – IAPRS, **33**, B5: 887–893, Amsterdam.
- WILLIAMSON, J.R. & BRILL, M.H., 1990: Dimensional analysis through perspective – a reference manual. – ASPRS, ISBN 0-8403-5673.
- ZIELINSKI, H., 1993: Object Reconstruction with Digital Line Photogrammetry. – Dissertation Royal Institute of Technology, Sweden.

Authors address:

Ir. FRANK A. VAN DEN HEUVEL
Delft University of Technology
Geodesy Department,
Thijssseweg 11
NL-2629 JA Delft
The Netherlands
Tel.: +31-15-278 7609, Fax: +31-15-278 2745
e-mail: F.A.vandenHeuvel@geo.tudelft.nl

Manuskript eingegangen: Mai 2001

Angenommen: Mai 2001

Kombination von Laserscanner-Systemen und photogrammetrischen Methoden im Nahbereich

ALBERT WIEDEMANN, Berlin

Zusammenfassung: Auf Messen und Ausstellungen sind Laserscanner-Systeme für den Nahbereich heute allgegenwärtig. Wenn hier von Nahbereich gesprochen wird, sind Objektgrößen von etwa 1 m bis zu einigen 10 m gemeint. Kleinere Objekte werden in der Regel im Labor bearbeitet und benötigen keine Geräte für den Feldeinsatz. Im vorliegenden Aufsatz werden Beispiele aufgezeigt, wie Laserscanner-Daten mit Ergebnissen anderer Verfahren, insbesondere photogrammetrischen Messungen kombiniert werden. Dies wird am Beispiel einer 3D-Strichauswertung erläutert. Ein anderes Beispiel ist die Nutzung von Laserscanner-Daten zur Schaffung eines Digitalen Oberflächenmodells als geometrische Grundlage für die differenzielle Entzerrung von Messbildern.

Summary: *Combination of Laser Scanner Systems and Photogrammetric Methods in Close Range Applications.* On fairs and exhibitions many laser scanner systems for close range applications are presented. In this context close-range applications are understood as surveys of objects with a size between 1 m and a few 10 m. Smaller objects can usually be transported to a laboratory and do therefore not need field methods. In the presented paper some examples are shown, how laser scanner data can be combined with other data, especially photogrammetric data. This will be shown by means of a 3D restitution. Another example is the generation of a Digital Surface Model, providing the geometric information for the differential rectification of metric images.

1 Einleitung

Seit einigen Jahren tauchen immer mehr Anbieter von Laserscanner-Systemen auf dem Markt auf. Während der Einsatz und die Auswertung von Laserscanner-Daten aus der Luft in der Photogrammetrie weite Beachtung gefunden hat, ist der Einsatz von Laserscannern im Nahbereich bisher vor allem den Systementwicklern und wenigen Protagonisten vorbehalten (SURMANN et al. 2001, LETELLIER 1999). In dem über 500 Seiten starken aktuellen Werk „Nahbereichsphotogrammetrie“ von LUHMANN (2000) werden dem Thema ganze drei Seiten gewidmet.

Auf der anderen Seite tritt ein Teil der Protagonisten der Laserscanner-Systeme auf, ohne die in Photogrammetrie und Geodäsie vorhandenen Erfahrungen im Umgang mit raumbezogenen Daten zu berücksichtigen. Daraus entwickelt sich oft eine

grobe Fehleinschätzung der Möglichkeiten und Grenzen von Laserscanner-Systemen. Wird dieses unkritisch den Kunden von Dienstleistungen vorgetragen, können Vorurteile geschürt werden und der schon immer schwierige Umgang mit Fachleuten aus anderen Disziplinen, etwa der Baugeschichte und dem Denkmalschutz, wird weiter erschwert.

Dabei haben Laserscanner im Nahbereich ein enormes Leistungs- und Anwendungspotenzial. Sie können enorme Mengen von Objektpunkten in kürzester Zeit räumlich erfassen, z. B. für die geometrische Beschreibung von Innenräumen und Fassaden, von Skulpturen und Reliefs, aber auch von Werkstücken und anderen Objekten. Ihre Stärken können Laserscanner-Systeme aber vor allem dann ausspielen, wenn sie mit geodätischen und photogrammetrischen Methoden kombiniert werden.

2 Grundlagen der Laserscanner im Nahbereich

Im Prinzip bestehen Laserscanner aus einem System zur elektro-optischen Distanzmessung und einer Ablenkeinrichtung, welche es erlaubt, ein gewisses Raumsegment in regelmäßiger Form abzutasten. Die Messergebnisse werden in einer Matrix gespeichert, bei der Zeilen- und Spaltenrichtungen zwei zueinander orthogonalen Raumwinkeln entsprechen. Würde der Laserscanner vor der Messung horizontalisiert, entsprechen die Rasterpositionen Horizontal- und Vertikalwinkeln und können wie Theodolitmessungen behandelt werden.

Die gespeicherten Daten beschreiben in jedem Fall zumindest die räumliche Strecke zu einem differenziell kleinen Element der Objektoberfläche. Die Strecke wird in der Regel mit einem Phasenvergleichsverfahren gemessen. Das bedeutet, dass bei Überschreitung der maximalen Messwellenlänge Mehrdeutigkeitsprobleme auftreten können. Diese sind aber in der Regel auf Grund der Kenntnis der groben Objektform einfach zu beheben. Somit liegt die Punktwolke in Form von räumlichen Polarkoordinaten vor, welche nach Anbringen erforderlicher Korrekturen z.B. in kartesische oder zylindrische Koordinaten umgerechnet werden können.

Manche Laserscanner registrieren neben der gemessenen Strecke in einem gleichen Raster die Intensität des reflektierten Signals, so dass auch ein digitales Bild des Objektes gewonnen werden kann (Intensitätsbild). Dies ist von besonderer Bedeutung bei der Kombination von Laserscanner-Daten mit Daten anderer Messsysteme, lassen sich damit doch beispielsweise ebene Passpunktmarken im Objektraum lokalisieren.

Auch das abgetastete Raumsegment unterscheidet sich: Einige Systeme können in einem Satz einen Raumbereich von jeweils bis zu 30° in Azimut und Elevation abtasten, andere einen Zylinder mit 360° im Azimut und $+30^\circ$ in der Elevation, wieder eine ganze Hemisphäre oder noch mehr.

Die Aufnahmeanordnung muss je nach dem zu erfassenden Objekt unterschiedlich

gewählt werden. Während für die Aufnahme von Innenräumen die Erfassung ganzer Hemisphären oder noch mehr in einem Satz ideal ist, reicht für die Erfassung von Gebäudefassaden ein horizontaler Schwenkungsbereich von etwa 90° bis 120° in der Regel aus. Für Skulpturen oder vergleichbare Objekte müssen um das Objekt herum mehrere Standpunkte gewählt werden. Die gewonnenen Datensätze müssen dann anschließend zusammengefügt werden. Alternativ kann man ein solches Objekt auf einem Drehteller platzieren. Dann müssen Datenaufnahme und Drehung des Tellers aufeinander abgestimmt sein.

Sobald man mehr als einen Aufnahmedatensatz zu einem größeren Datensatz zusammenfügen will, ist in der Regel die Verwendung geodätisch vermessener Passpunkte im Objektraum zweckmäßig. Einige Teams arbeiten auch an der Zusammenfügung der unterschiedlichen Aufnahmedatensätze auf der Basis in den Daten erkannter und zugeordneter ebener Flächen. Dieses Verfahren scheint aber noch nicht ganz ausgereift zu sein.

In der Regel werden immer mehrere Datensätze zur Vermeidung sichttoter Räume erforderlich sein.

Auch zur Feinkalibrierung werden meist einige geodätisch vermessene Punkte im Objektraum benötigt. In der Regel werden sich nur so die angegebenen Genauigkeiten der Geräte erzielen lassen.

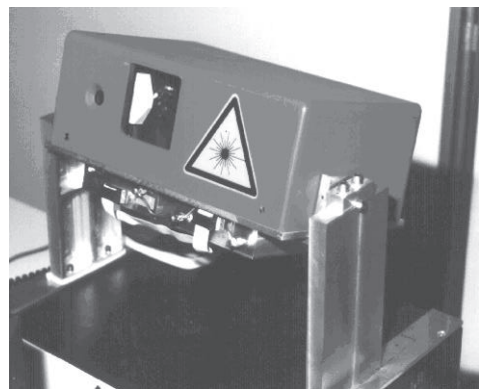


Abb. 1: Laserscanner des Instituts für Navigation der Universität Stuttgart.

Derzeit kommerziell einsetzbare Systeme werden in Deutschland unter anderem von folgenden Firmen angeboten:

- System Cyrax von Leica Geosystems in München,
- System Callidus von der gleichnamigen Firma in Halle/Saale,
- System LMS von der Firma Riegl in Horn in Österreich,
- System LaserRadar von Zoller & Fröhlich, Wangen im Allgäu.

Leider fehlen bisher vergleichende Untersuchungen zu den angebotenen Systemen. Auch erscheinen einige Angaben in den Prospekten der Hersteller als nicht haltbar

und bedürfen einer unabhängigen Überprüfung.

Die hier vorgestellten Arbeiten basieren auf dem Einsatz eines Prototypen (Abb. 1), welcher am Institut für Navigation der Universität Stuttgart in den 90er Jahren gebaut wurde. Das System wird ausführlich in einem Aufsatz von WEHR (1997) beschrieben. Die anderen auf dem Markt befindlichen Systeme sind nicht so offen in der Beschreibung ihres Innenlebens, das Funktionsprinzip sollte jedoch gleich oder ähnlich sein. Das verwendete System zeichnet auch schon Intensitätswerte auf und wird deshalb manchmal 4D-Laserscanner genannt. Es ist zwar heute nicht mehr ganz State-of-the-

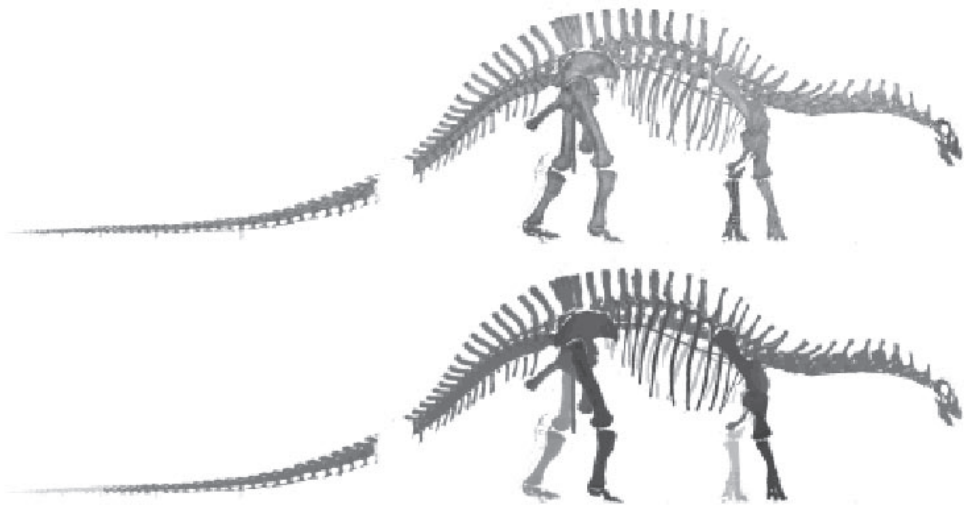


Abb. 2: Aus acht Aufnahmedatensätzen zusammengesetzter Verband von Daten des *Dicraeosaurus hansemanni* im Museum für Naturkunde in Berlin. Oben das Intensitätsbild, unten das in Grauwerten codierte Abstandsbild. Im Abstandsbild repräsentieren dunkle Bereiche kürzere Objektstände.

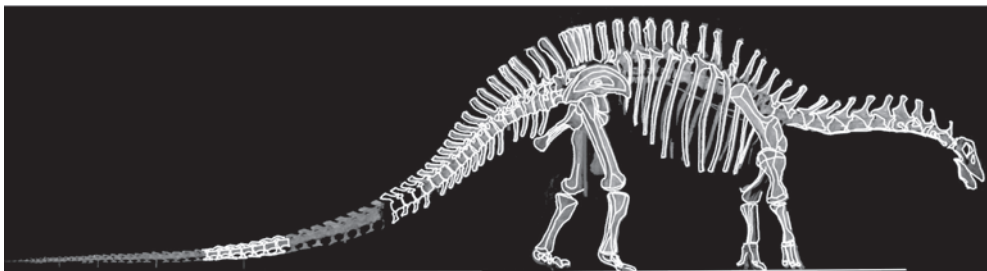


Abb. 3: Das Intensitätsbild des Laserscanner-Datensatzes überlagert mit den Ergebnissen einer photogrammetrischen Auswertung.

Art, insbesondere hinsichtlich der erforderlichen Messzeiten, man kann aber dennoch das Potenzial und die Grenzen solcher Systeme daran deutlich machen.

3 Erfassung von Objektkonturen

Die Erfassung der Form und Gestalt unregelmäßig geformter Objekte ist eine der Stärken von Laserscannern. Das Fachgebiet Photogrammetrie und Kartographie der Technischen Universität Berlin arbeitete Ende der 90er Jahre eng mit dem Institut für Physiologie der Freien Universität Berlin und dem Museum für Naturkunde der Humboldt-Universität Berlin bei der Vermessung von Dinosaurierskeletten zusammen. Zunächst wurde vor allem die Stereophotogrammetrie eingesetzt. Dabei kam eine traditionelle Messkamera (Zeiss TMK 6) und ein Analytischer Plotter (Kern DSR 11) zum Einsatz. Die stereoskopische Vermessung der sich durchdringenden Objektteile erwies sich als nicht einfach, weshalb effizientere Alternativen gesucht wurden.

Es entstand die Idee, zur Vermessung der Skelette auch Laserscanner einzusetzen. Hierbei wurden die einzelnen mit dem System der Universität Stuttgart gewonnenen Datensätze an Hand einiger, geodätisch vermessener räumlicher Punktmarken (in Form von Styroporkügelchen mit etwa 2 cm Durchmesser) aufeinander transformiert. Anschließend wurden diese Datensätze auf eine vertikale Bezugsebene parallel zur Wirbelsäule des Objektes abgebildet. Der nächste Schritt war dann die Elimination des Hintergrundes und störender Elemente im Vordergrund mittels Schwellwertverfahren. Zuletzt erfolgte die Elimination von Störungen, welche in Form von Mischpixeln in der Regel an den Kanten des Objektes entstehen können, da die gemessene Entfernung aus Objektabstand und Abstand des Hintergrundes durch gewichtete Mittelwertbildung bestimmt wird. Das Ergebnis dieser Bearbeitungsschritte ist in Abb. 2 zu sehen (WIEDEMANN & WEHR 1998). Im weiteren Verlauf wurden die Daten dann noch den Ergebnissen der stereophotogrammetri-



Abb. 4: Fotografie des Objektes „Reliefe“, aufgenommen mit einer Rolleiflex 6006 metric mit einem 50-mm Objektiv.

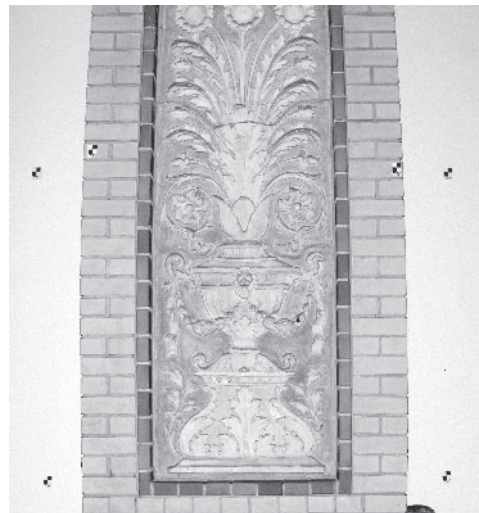


Abb. 5: Unbearbeiteter (und deshalb tonnenförmig deformiert erscheinender) Intensitäts-Datensatz Nr. 2 des Laserscanners.

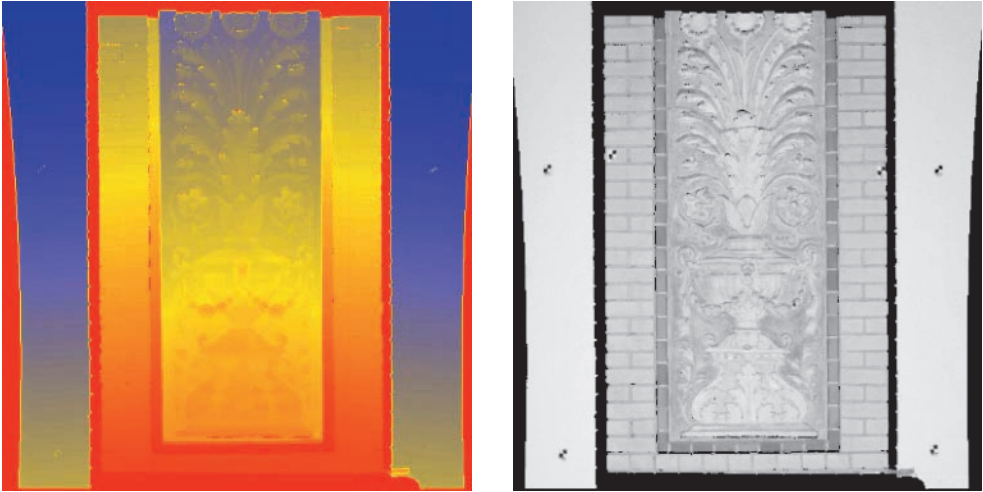


Abb. 6: Datensatz Nr. 2 umgewandelt in ein orthogonales Raster. Links: In Farben codiertes Abstands-bild. Rechts: Intensitätsbild (die schwarzen Bereiche repräsentieren Regionen ohne Daten, entweder wegen Verdeckung oder weil sie außerhalb des Arbeitsbereiches lagen).

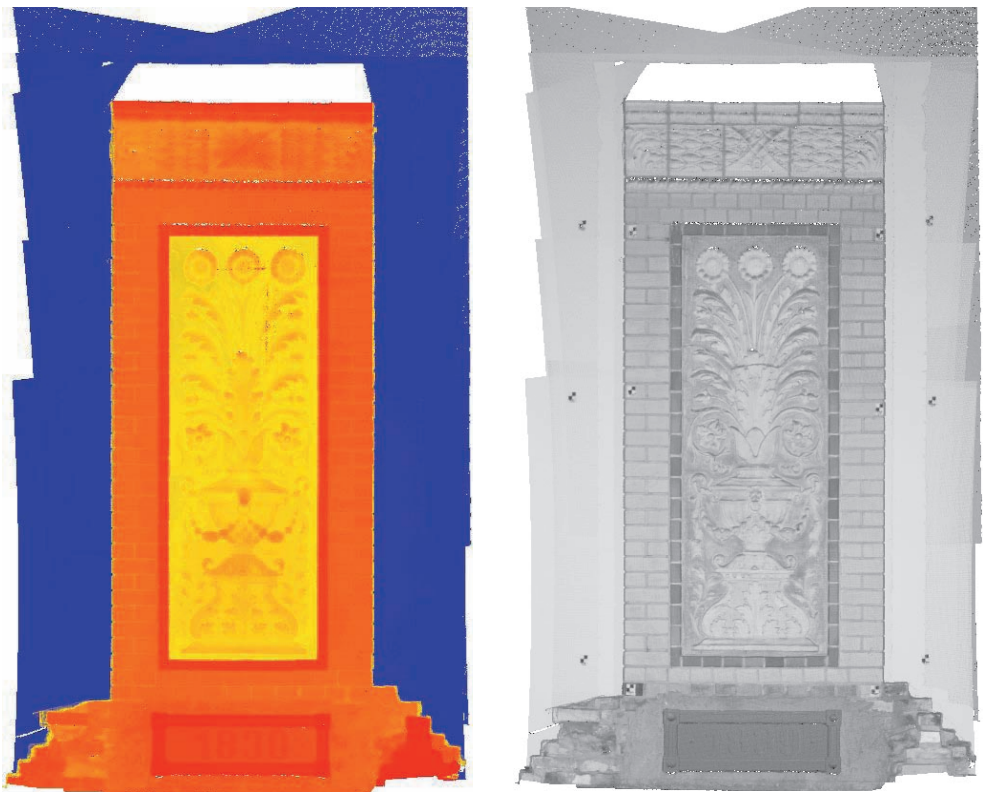


Abb. 7: Aus 7 Datensätzen zusammengesetztes Mosaik. Links das Digitale Oberflächenmodell (in ein farbcodiertes Abstands-bild umgewandelt). Rechts ein aus Laserscanner-Daten abgeleitetes digitales Bild (Intensitätsbild).

schen Auswertung gegenübergestellt (Abb. 3) (WIEDEMANN et al. 1999). Hier zeigte sich eine gute Übereinstimmung. Die Lücken im Datenmaterial entstanden durch eine Vitrine im Vordergrund.

4 Erfassung von Oberflächenformen

Besonders zweckmäßig erscheint die Kombination von Laserscanner-Daten und photogrammetrischen Bildern zur Herstellung digitaler Orthophotos unregelmäßig geformter und stark räumlich gegliederter Oberflächen, wie etwa Reliefs.

Aus diesem Grund wurde ein ursprünglich am Anhalter Bahnhof in Berlin befindliches Relief von etwa 1,2 m Breite, 3 m Höhe und einer Tiefe von etwa 0,4 m mit dem Laserscanner aus Stuttgart vermessen (Abb. 4). Das Relief befindet sich nun am Lichthof des Hauptgebäudes der Technischen Universität Berlin. Neben den Messungen mit dem Laserscanner wurden auch geodätische und photogrammetrische Messungen durchgeführt (Tab.1), um ein gemeinsames Bezugssystem sowie Vergleichsdaten zur Verfügung zu haben. Ziel des Projektes war es, zu klären, inwiefern sich La-



Abb. 8: Zwei Orthophotos, berechnet aus unterschiedlichen, von verschiedenen Standpunkten aus aufgenommenen Originalbildern. Weiße Bereiche repräsentieren Gebiete ohne Laserscanner-Daten, schwarze Bereiche sind sichttote Räume in den Bildern. Im linken Bild ist unten ein Kabel zu sehen.

Tab. 1: Messungen am Testobjekt „Relief“.

Geodätische Messungen:
12 Passpunkte von 3 Standpunkten
1 Stunde Totalstation
2 Personen
Photogrammetrische Messungen:
2 Filme (je 12 Bilder) mit Rolleiflex 6006 metric
1 Stunde
1 Person
Auflösung: 1,6 mm am Objekt
Laserscanner-Messungen:
7 Datensätze mit jeweils 400 × 400 Punkten
4 Stunden
1 Person
Auflösung: 5 mm am Objekt

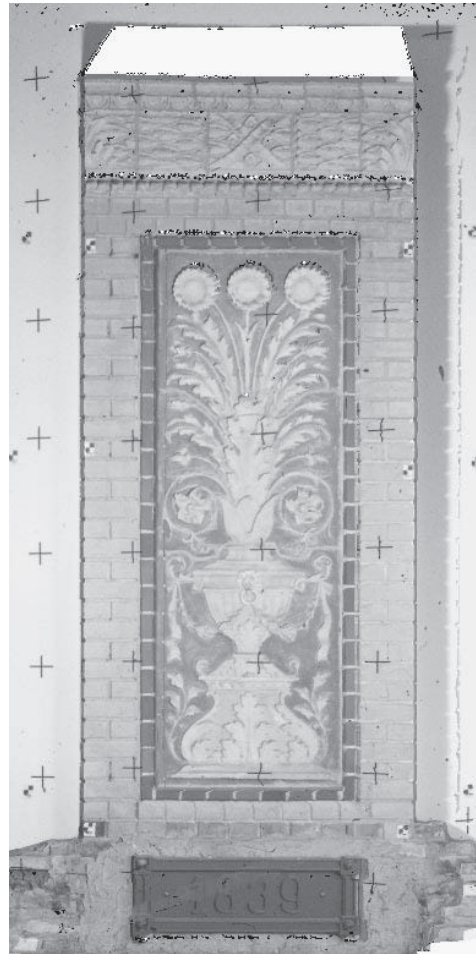
ser-scanner-Daten und photogrammetrische Daten ergänzen, und inwiefern sie als Konkurrenz zu betrachten sind.

Mit dem Laserscanner wurde mehr als ein Datensatz aufgenommen, um sichttote Räume soweit wie möglich zu vermeiden. Der einzelne Datensatz erscheint zunächst tonnenförmig verzeichnet (Abb. 5). Dies liegt an den unterschiedlichen Winkeln zu den einzelnen Objektpunkten in Abhängigkeit von ihrem Radialabstand.

In einem ersten Schritt wurden die unregelmäßigen Punktwolken jedes Datensatzes in ein orthogonales Raster im Objektraum mit einer gemeinsamen Ebene als Bezugsfläche umgewandelt. Dabei wurde ein mittlerer Punktabstand von 5 mm als Rasterweite zugrunde gelegt (Abb. 6). Diese Datensätze wurden auf der Basis der geodätisch vermessenen Passpunkte zu einem das Objekt abdeckenden Oberflächenmodell sowie einem Intensitätsbild zusammengefügt (Abb. 7).

In einem weiteren Schritt wurde das Digitale Oberflächenmodell zur differentiellen Entzerrung von Teilmessbildern aus der Rolleiflex 6006 metric verwendet. Hier lagen mehrere Bilder vor, ein Film (12 Bilder) in Schwarzweiß, ein Film in Farbe.

Es wurden daraus diverse schwarzweiße und farbige Orthophotos durch differentiellen Entzerrung gerechnet (Abb. 8). Da jedes Bild von einem anderen Standpunkt aus aufgenommen worden war, ergaben sich unterschiedliche sichttote Bereiche in den Bildern. Bei genauem Hinsehen erkennt man

**Abb. 9:** Mosaik aus den beiden Orthophotos der Abb. 8.

in den Orthophotos diverse kleine Störungen, welche vor allem aus einzelnen Datenfehlern im zusammengeführten Digitalen Oberflächenmodell resultieren. Des Weiteren erscheint ein kleiner Saum an Unstetigkeitsstellen. Dieser entsteht durch das Sampling beim Projizieren der Rohdaten auf das Digitale Oberflächenmodell.

Durch das Zusammenfügen und Mosaiken unterschiedlicher Bilder können die sichttoten Räume reduziert werden (Abb. 9). Dasselbe ist selbstverständlich auch in Farbe möglich.

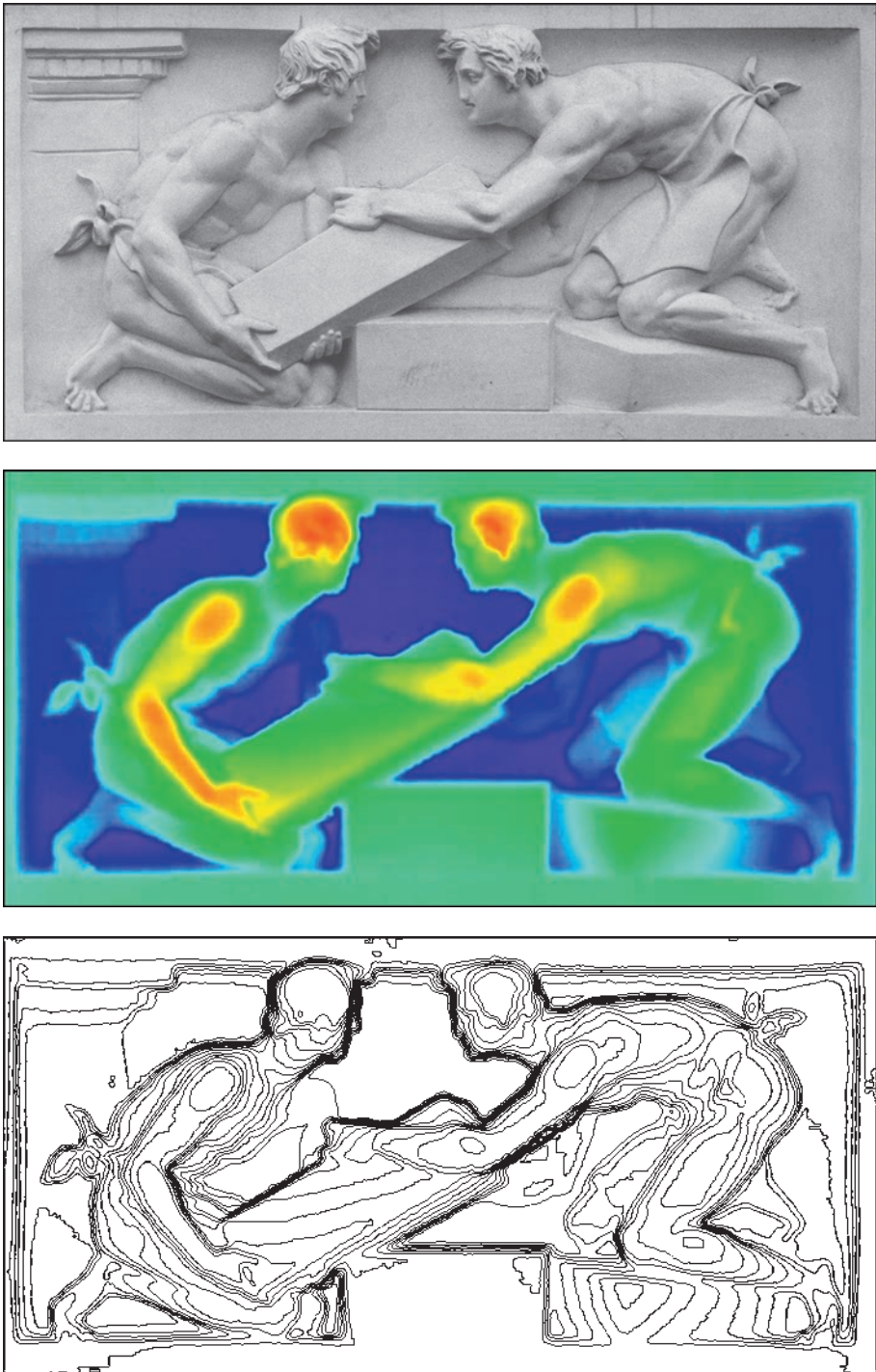


Abb. 10: Replikat des Reliefs „Grundsteinlegung“ von der ehemaligen Bauakademie. Oben: Photographisches Bild. Mitte: Mit dem Laserscanner gewonnenes Abstandsbild (rot = vorne, blau = hinten). Unten: Aus den Laserscanner-Daten abgeleitetes Höhenlinienbild.

Als weiteres Beispiel seien derzeit laufende Untersuchungen in Zusammenarbeit mit dem Bildungsverein Bautechnik Berlin-Brandenburg und dem Produktionstechnischen Zentrum (PTZ) der Technischen Universität Berlin genannt. Das Ziel ist, Laserscanner-Daten mit 3D-Drucktechnologie als Datenbasis für die Erstellung von Formen zur Herstellung von Kopien der Terrakottareliefs zu verwenden. Als Testobjekt dient das Relief „Grundsteinlegung“ von der von KARL FRIEDRICH SCHINKEL errichteten Bauakademie zu Berlin. Es ist geplant, das zerstörte Gebäude, in dem ursprünglich die Meydenbauersche Messbildanstalt untergebracht war, wieder zu errichten.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Laserscannerdaten liefern eine hervorragende geometrische Grundlage für die Bestimmung von Objektkonturen und für die Gewinnung von Oberflächenmodellen, welche wiederum gut als geometrische Grundlage für die differenzielle Entzerrung dienen können.

Wichtig wäre dabei jedoch noch die Adaption geeigneter kantenerhaltender Filter für die Elimination von Störungen und die Anpassung optimaler Oberflächeninterpolationsverfahren für die Projektion der Daten in ein geeignetes Raster. Bei beiden Aufgaben kann wohl auf die umfangreichen Erfahrungen aus dem Bereich der Digitalen Bildverarbeitung zurückgegriffen werden.

In der Zukunft werden Laserscanner ein vielseitiges Werkzeug für Messaufgaben im Nahbereich sein, insbesondere in der Kombination mit photogrammetrischen Methoden. Ein reiches Anwendungspotenzial eröffnet sich bei der Bauaufnahme, beispielsweise von Dachstühlen und ganzen Fassaden, aber auch einer Vielzahl anderer Objekte aus den Bereichen Denkmalpflege, Bau-forschung, Fertigung usw.

Anbieter von Laserscanner-Systemen weisen gerne auf deren beachtliche technische Leistungsdaten. Es fehlt ihnen aber oft die Sachkenntnis und Erfahrung im Umgang mit räumlichen Meßdaten. Andererseits liegen in der Photogrammetrie hin-

sichtlich der Verarbeitung und Anwendung räumlicher Daten reiche Erfahrungen vor. Die Photogrammeter sollten diese Kenntnisse in die weitere Entwicklung einbringen und das neue Arbeitsgebiet nicht unkritisch den Systemanbietern überlassen.

Dank

Besonderer Dank gilt Dr. ALOYSIUS WEHR und MARTIN THOMAS vom Institut für Navigation der Universität Stuttgart. Sie stellten den Laserscanner für die vorgestellten Untersuchungen zur Verfügung, führten die Messungen durch und bereiteten die Daten so auf, dass damit ohne große Mühe weitergearbeitet werden konnte.

Weiterhin gilt unser Dank den Partnern im DFG-Projekt „Dinosaurier-Lagerstätte Tendaguru“, welche uns die ersten experimentellen Einsätze des Stuttgarter Laserscanner-Systems ermöglichten, insbesondere Dr. HANNS-CHRISTIAN GUNGA und Prof. Dr. WOLF-DIETRICH HEINRICH.

Großer Dank gebührt auch Prof. JÖRG ALBERTZ für die Anregung zu der interessanten Arbeit.

Literatur

- LETELLIER, R., 1999: Virtual Reality - A New Tool for Sustainable Tourism and Cultural Heritage Sites Management. Proceedings of the 17. CIPA-Symposium, Olinda, Brazil, auf CD-ROM.
- LUHMANN, TH., 2000: Nahbereichsphotogrammetrie. Wichmann, Heidelberg, 571 S.
- SURMANN, H., LINGEMANN, K., NÜCHTER, A. & HERTZBERG, J., 2001: A 3D laser range finder for autonomous mobile robots. Proceedings of the 32nd International Symposium on Robotics.
- WEHR, A., 1997: Abbildende Laserscanner – Anwendungen in Bauaufnahme und Denkmalpflege. In: ALBERTZ, J. & WIEDEMANN, A. (Hrsg.): Architekturphotogrammetrie gestern - heute - morgen. Technische Universität Berlin, S. 114–127.
- WIEDEMANN, A. & WEHR, A., 1998: Vermessung von Dinosaurierskeletten mit Stereophotogrammetrie und Laserscanner. In: Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 6: 301–308, Berlin.

WIEDEMANN, A., SUTHAU, T. & ALBERTZ, J., 1999:
Photogrammetric Survey of Dinosaur Skele-
tons. Mitteilungen des Museums für Naturkun-
de Berlin, Geowissenschaftliche Reihe 2, 113–
119, Berlin.

Anschrift des Verfassers:
Dipl.-Ing. ALBERT WIEDEMANN
Technische Universität Berlin
FG Photogrammetrie und Kartographie
Sekt. EB 9
Straße des 17. Juni 135
D-10623 Berlin
Tel: 030/314-23991, Fax: 030/314-21104
e-mail: albert@fpk.tu-berlin.de

Manuskript eingegangen: Mai 2001
Angenommen: Mai 2001

Digitale Entzerrung historischer Messbilder

MATTHIAS HEMMLEB, Berlin

Zusammenfassung: Die photogrammetrische Auswertung historischer Bilder bietet die Möglichkeit, maßstäbliche Informationen zerstörter oder veränderter Bauwerke zu gewinnen. Digitale Bildverzerrungen dienen dabei als Grundlage für die Planerstellung und ermöglichen den Vergleich historischer und aktueller Ansichten des Objekts. Eine Besonderheit bei der Entzerrung historischer Messbilder besteht darin, dass häufig keine oder nur unzulängliche Referenzinformationen vorhanden sind. Die Verbindung von Bildverarbeitungsalgorithmen mit photogrammetrischen Methoden und Ansätzen der analytischen Geometrie des Raumes bietet verschiedene Lösungsmöglichkeiten des Problems. Wegen ihrer hohen geometrischen und fotografischen Qualität nehmen die Messbilder aus dem MEYDENBAUER-Archiv eine Sonderrolle bei der photogrammetrischen Auswertung historischer Bilder ein. Neben der Bereitstellung von Plänen und Maßangaben tragen entzerrte Messbilder auch zur dreidimensionalen Visualisierung zerstörter historischer Bausubstanz bei.

Summary: *Digital Rectification of Historical Metric Images.* Photogrammetric evaluation of historical images offers the possibility to obtain true-scale information about destroyed or changed buildings. Digitally rectified images serve as basis for map production and give the possibility to compare historical and present-day views of the object. A special feature concerning the rectification of historical metric images consists of having no or insufficient reference information. The combination of digital image processing algorithms, photogrammetric methods, and approaches of analytical spatial geometry offers various solutions of the problem. Because of their high geometric and photographic quality the metric images from the MEYDENBAUER Archive play a special role concerning the photogrammetric evaluation of historical images. Besides providing maps and measurements the rectified metric images can contribute to three-dimensional visualization of destroyed historical monuments.

1 Einleitung

Historische Bilder sind heute oftmals die einzigen Unterlagen von Gebäuden und Denkmälern, die im Laufe der Zeit zerstört oder verändert wurden. Photogrammetrische Methoden ermöglichen die Auswertung des vorhandenen Bildmaterials und die Erstellung von Plänen der Fassaden und des Grundrisses. Da in zahlreichen Fällen ebene oder einfach gekrümmte Fassaden oder Fassadenteile auszuwerten sind, bietet sich die digitale Entzerrung der vorhandenen Bilder an, welche dann als Grundlage für die Planerstellung dienen. Die erreichbare Genauigkeit ist von zahlreichen Faktoren abhängig, insbesondere aber von der foto-

grafischen Qualität der Bilder und dem Grad der verfügbaren Referenzinformationen.

Ist das Gebäude oder ein Teil davon noch vorhanden, so kann der Maßstabsbezug durch nachträglich gemessene Passpunkte hergestellt werden. Ist das nicht der Fall, hängt eine maßstabstreue Auswertung davon ab, ob noch Kalibrierungsdaten der Kamera vorhanden sind oder Informationen über den Aufnahmestandpunkt vorliegen. Wurden bei der Aufnahme zusätzliche Bedingungen eingehalten, lassen diese unter bestimmten Bedingungen eine maßhaltige Auswertung zu. Das ist beispielsweise bei zahlreichen Aufnahmen des MEYDENBAUERschen Messbildarchivs der Fall. Wenn genügend Bilder in ausreichender Qualität vor-

liegen, dann kann die Rekonstruktion der Aufnahmesituation auch mit Hilfe einer Bündelausgleichung vorgenommen werden. Der Erfolg einer photogrammetrischen Auswertung hängt insbesondere davon ab, mit welcher geometrischen Konstellation die Bilder vom betreffenden Objekt vorliegen und ob die vorhandenen Bilder mit ein und derselben Kamera aufgenommen wurden. Unter Umständen können zusätzliche geometrische Bedingungen am Objekt zu einer Lösung des Problems beitragen. Diese Ansätze können entweder in die digitale Bildverzerrung integriert werden oder sie dienen der Bestimmung von Passinformationen vor der eigentlichen Entzerrung.

Soweit von den betreffenden Gebäuden Messbilder vorliegen, sollten diese wegen ihrer hohen Qualität und ihrer photogrammetrischen Eigenschaften gegenüber anderen Aufnahmen vorgezogen werden. Eine besondere Rolle bei der photogrammetrischen Auswertung spielen die historischen Messbilder aus dem Messbildarchiv beim Brandenburgischen Landesamt für Denkmalpflege. Daher soll zunächst kurz auf dieses Archiv eingegangen werden.

2 Albrecht Meydenbauer und das Messbildarchiv

ALBRECHT MEYDENBAUER (1834–1921) gilt als der Begründer der Architekturphotogrammetrie (SCHWIDEFSKY 1971, GRIMM

1977, GRIMM 1985, MEYER 1985). Neben seinen Überlegungen zum Messprinzip durch die Umkehrung des Strahlengangs bei fotografischen Aufnahmen konstruierte er auch selbst geeignete Messkameras. Sein wichtigstes Ziel war aber die Begründung eines Deutschen Denkmälerarchivs, in dem das kulturelle Erbe mit Messbildern dokumentiert und archiviert ist und für eine photogrammetrische Auswertung bereit steht (MEYER 1993). Diesem Ziel kam er 1885 mit der Gründung der „Königlich Preussischen Messbildanstalt“ in Berlin einen deutlichen Schritt näher. Ein nationales Denkmälerarchiv existiert dagegen bis heute nicht.

Nach einer wechselvollen Geschichte befinden sich heute noch rund 20.000 großformatige Glasplatten mit Messbildern als Kernstück des MEYDENBAUER'schen Messbildarchivs im Besitz des Brandenburgischen Landesamtes für Denkmalpflege (BURKHARDT 1958, BÜTTNER 1972, KOPPE 1996). Die Bilder mit einer Größe bis zu 40 × 40 cm wurden von der Gründung der Messbildanstalt 1885 an bis in die 30er Jahre des vorigen Jahrhunderts mit hochwertigen, für diesen Zweck erbauten Messkameras unter Berücksichtigung einer speziellen Aufnahmekonfiguration aufgenommen. Der größte Teil der Sammlung umfasst Baudenkmäler aus dem Raum Berlin-Brandenburg. Es gibt aber auch zahlreiche Aufnahmen von architektonischen Sehenswürdig-



Abb. 1: Rathaus Naumburg, Reproduktion von einem 1906 aufgenommenen Messbild im MEYDENBAUER-Archiv.



Abb. 2: Rathaus Naumburg, Detail aus des historischen Messbild der Abb. 1.

keiten in ganz Deutschland (s. Abb. 1 und 2) und teilweise auch im Ausland.

Leider sind im Zweiten Weltkrieg sämtliche Unterlagen zu den Kameras sowie auch die verwendeten Kameras selbst verloren gegangen. Daher existieren zu den Aufnahmen keine Kalibrierungsdaten, obwohl es sich um Messbilder handelt. Als Referenzinformation für die Auswertung verwendete MEYDENBAUER keine Passpunkte, sondern Passstrecken, welche jedoch zusammen mit den anderen Unterlagen abhanden gekommen sind. Diese Umstände, die eine photogrammetrische Auswertung erheblich erschweren, führen dazu, dass entweder die Kameras nachträglich aus den Bildern kalibriert werden müssen, oder dass für eine photogrammetrische Bearbeitung Verfahren ausgewählt werden, die eine Kalibrierung berücksichtigen oder nicht benötigen.

Vor einiger Zeit wurden Untersuchungen zu einer nachträglichen Kalibrierung der MEYDENBAUER-Kameras durchgeführt (LI 1996). Es zeigte sich, dass keine generellen Aussagen zu den Daten der inneren Orientierung der Kameras möglich sind. Ursache dafür ist der häufig wechselnde Einsatz und die ständige Weiterentwicklung der Kameras durch Meydenbauer. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass die Kameras für den Transport zerlegt wurden und daher keine stabile innere Geometrie besaßen. Im Rahmen der Untersuchungen konnte aber gezeigt werden, dass sich mit Hilfe einer photogrammetrischen Bündelausgleichung Parameter der inneren Orientierung bestimmen lassen, die bei weiteren Auswertungen verwendet werden können. Daneben ließen sich Gruppen von Kameras ermitteln, welche teilweise anhand der abgebildeten Rahmenmerkmale wiedererkennbar sind, so dass zumindest Näherungswerte für spätere Auswertungen zur Verfügung stehen.

In vielen Anwendungsfällen ist es am einfachsten, ein photogrammetrisches Verfahren auszuwählen, bei dem die innere Orientierung nicht benötigt wird. Falls am Gebäude noch Passpunktmessungen möglich sind, kann daher eine digitale projektive Entzerrung der Messbilder angewandt werden. Die Vorgehensweise wird kurz im fol-

genden Kapitel erläutert. Für die Entzerrung von Messbildern von Bauwerken, die nicht mehr vorhanden sind, werden im darauffolgenden Kapitel verschiedene Auswertansätze vorgestellt, die zum Teil die speziellen Aufnahmebedingungen MEYDENBAUERS berücksichtigen.

3 Digitale Entzerrung und Abwicklung von Bildern vorhandener Bauwerke

Ist ein aufgenommenes Gebäude erhalten, werden geodätische Passinformationen auf der noch vorhandenen Fassade gemessen und anschließend dazu verwendet, das Messbild geometrisch und maßstabsgerecht zu entzerren. Dabei ist darauf zu achten, dass die Passpunkte sowohl im historischen Bild als auch am Objekt gut identifizierbar sind und sich der Lage nach im Laufe der Zeit nicht verändert haben.

Vor der Entzerrung müssen die betreffenden Bilder zunächst digitalisiert werden. Stehen die Originalvorlagen zur Verfügung, können sie mit einem kalibrierten Flachbettscanner erfasst werden. Für das Scannen von Filmmaterial ist eine Durchlichtoption erforderlich. Übersteigt die Bildgröße den Scanbereich, ist zuvor eine Reproduktion des Originals anzufertigen. Das ist beispielsweise bei den Bildern des MEYDENBAUER'schen Messbildarchivs der Fall. In Ausnahmefällen erfolgt die Belichtung einer Kontaktkopie vom Original, welche dann mit einem hochwertigen Luftbildscanner digitalisiert werden kann. Beim Scannen ist darauf zu achten, dass die Geräteauflösung dem gewünschten Maßstab der Entzerrung entspricht. Als Beispiel sind in Tab. 1 Scannerauflösung und maximaler Entzerrungsmaßstab für eine Reproduktion des Messbilds vom Naumburger Rathaus angegeben.

Tab. 1: Beispiel für Scannerauflösung und maximalen Entzerrungsmaßstab.

Scanner-Auflösung [dpi]	300	600	1200
Bildgröße [MB]	5	20	80
Entzerrungsmaßstab (maximal)	1 : 200	1 : 100	1 : 50



Abb. 3: Rathaus Naumburg, entzerrtes historisches Messbild (Originalmaßstab 1 : 50).



Abb. 4: Rathaus Naumburg, entzerrtes Messbild aus dem Jahre 1994.

Die Werte für die Bildgröße beziehen sich auf Vorlagen im Format $19\text{ cm} \times 19\text{ cm}$. Die Angaben für den maximalen Bildmaßstab gehen von einer abgebildeten Fassadenlänge von rund 40 m bei einer Auflösung des entzerrten Bildes von 300 dpi aus.

Zur Bearbeitung eignet sich photogrammetrische Software, welche die digitale Bildentzerrung auf Basis einer projektiven Transformation zulässt. Für die hier vorgestellten Beispiele wurde das Programm *metigo-2D* – eine Entwicklung der *fokus GmbH Leipzig* – eingesetzt. Da mehr als vier Passpunkte zur Verfügung standen, erfolgte die Berechnung der Koeffizienten mit einer Ausgleichung und statistischer Auswertung. Diese Vorgehensweise ist gerade bei der Entzerrung historischer Messbilder von großer Bedeutung, da mit Hilfe der statistischen Kenngrößen (normierte Verbesserung, Redundanz und die vermutliche Größe eines groben Fehlers) Fehler bei der Passpunktidentifizierung aufgedeckt werden können. Auf diese Weise wird es möglich, Passpunktfehler zu erkennen und zu eliminieren, die durch geringfügige bauliche Veränderungen (beispielsweise bei einer Sanierung des Bauwerks) bedingt sind.

Die Ergebnisse der digitalen Entzerrung – geometrisch entzerrte Messbilder (Abb. 3) oder bei größeren Objekten maßstäbliche Bildpläne – werden je nach Bedarf gedruckt oder ausbelichtet und stehen damit für weitere Arbeiten in Fotoqualität zur Verfü-

gung. Mit geeigneter Software lassen sich Abmessungen der Fassade und architektonischer Details im gewünschten Maßstab entnehmen. Auf der Basis des entzerrten Messbilds können aber auch Pläne in Form von Strichzeichnungen erstellt werden, die dann für eine Archivierung, Restaurierung oder Rekonstruktion bereitstehen. Mit der Entzerrung eines aktuellen Messbilds (Abb. 4) lassen sich durch Überlagerung außerdem bauliche Veränderungen feststellen und maßstäblich dokumentieren. Ein Beispiel für die Entzerrung und Überlagerung historischer Messbilder mit dem aktuellen Zustand zeigt die Abb. 5. Für die Dokumentation und Planung der Rekonstruktion der Muschelgrotte im Potsdamer Neuen Garten wurden eine historische Ansicht, der Zustand vor Beginn der Sicherungsmaßnahmen, sowie die aktuellen Phasen der Arbeiten maßstäblich dokumentiert. Weitere Informationen zu den durchgeführten Arbeiten, insbesondere auch zur Verwendung historischen Bildmaterials für die Restaurierung des Potsdamer Marmorpalais im Neuen Garten, finden sich in *HEMMLER & SIEDLER (2000)*.

Wenn die Bezugsfläche für das abgebildete Objekt eine einfach gekrümmte Fläche ist, kann es mit einer Abwicklung erfasst werden. Als Referenz stehen dafür Zylinder und Kegel zur Verfügung. Daneben können auch Flächen mit wechselnden Krümmungsradien als Bezugsfläche dienen, indem die

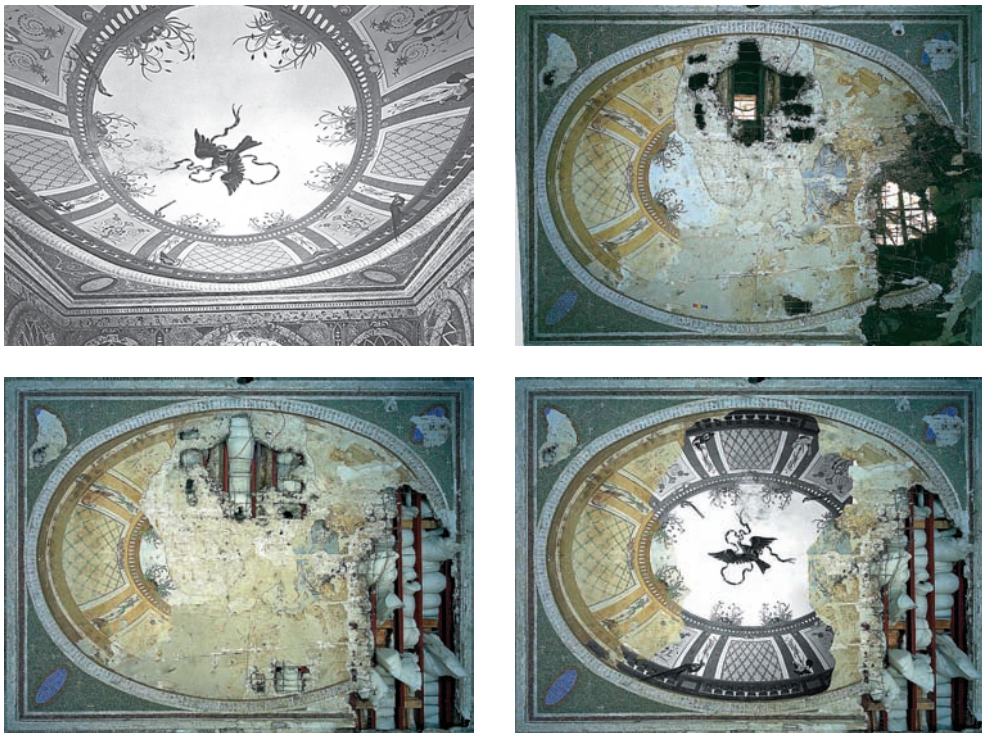


Abb. 5: Muschelgrotte im Neuen Garten Potsdam, Bildentzerrungen (Originalmaßstab 1 : 20). Links oben: Ausschnitt aus einem historischen Meßbild des MEYDENBAUER-Archivs (1912). Rechts oben: Zustand vor Beginn der Deckenschließung (1995). Links unten: Zustand nach den Sicherungsarbeiten (1998). Rechts unten: Zustand 1998 mit Hinterlegung der ursprünglichen Deckenmalerei aus dem historischen Meßbild.

Schnittlinie mit der Senkrechten zu dieser Fläche durch ein beliebiges Polygon festgelegt wird. In allen Fällen wird eine parametrische Entzerrung verwendet, welche die Bestimmung der Orientierungsparameter der verwendeten Bilder voraussetzt. Da zusätzlich die Objektgeometrie bestimmt werden muss, ist eine detaillierte und sorgfältige Passpunktmessung notwendig. Typische Anwendungsbeispiele sind die Abwicklung von Gewölben sowie die Erfassung der Innen- und Außenwände von Türmen und Apsiden. Zusätzlich kann ein vertikales Profil bei der Abwicklung berücksichtigt werden. Je nach Anwendungsfall ist dabei zwischen einer geschlossenen Darstellung oder einer maßstäblichen Abbildung auszuwählen. Handelt es sich um doppelt gekrümmte Flächen, können diese entweder durch eine

Orthoprojektion erfasst werden (ein Beispiel dazu befindet sich in HEMMLEB et al. 2001) oder man kann sie mit Hilfe einer Kartenprojektion in die Ebene abbilden. Ein typischer Anwendungsfall dafür ist beispielsweise die Abbildung von Globen (HEMMLEB & SUTHAU 1999).

Auch historische Bilder können mit den aufgezählten Techniken zu Bildplänen abgewickelt werden. Ein Beispiel dafür ist die Abwicklung der Westapsis der Stiftskirche St. Cyriakus in Gernrode unter Verwendung eines historischen Meßbildes von MEYDENBAUER (Abb. 6a). Wegen der Verdeckung der seitlichen Teile der Wandmalereien durch die Orgelemporen wurde nur der Mittelteil exemplarisch abgewickelt. Zuvor erfolgte die Aufnahme und Abwicklung der Westapsis im heutigen Zustand (siehe auch HEMM-



Abb. 6: Westapsis der Stiftskirche St. Cyriakus in Gernrode (Harz). Links oben: Reproduktion vom historischen Messbild aus dem MEYDENBAUER-Archiv (1906). Rechts oben: Abwicklung des Mittelteils des historischen Messbilds (Originalmaßstab 1 : 20). Rechts unten: Überlagerung von historischem und aktuellem Zustand (Detail).



LEB & SIEDLER 1999). Die dazu durchgeführten Passpunktmessungen fanden auch bei der Abwicklung des historischen Messbilds Verwendung. Für restauratorische Zwecke erfolgte auch hier die maßstäbliche Überlagerung von historischem und aktuellem Zustand, welche in Abb. 6, rechts unten) angedeutet ist.

Um den hohen Qualitätsanforderungen bei der Entzerrung historischer Messbilder Rechnung zu tragen, sollten ausschließlich qualitativ hochwertige Algorithmen für das Bildresampling ausgewählt werden. In den vorgestellten Beispielen wurde ein bikubischer Interpolationsansatz ausgewählt, da dieser trotz der benötigten hohen Rechnerleistung die besten Ergebnisse liefert. Dadurch lassen sich in Verbindung mit einer hohen Scanauflösung entzerrte Messbilder

berechnen, die auch bei großen Maßstäben eine ausreichende Detailauflösung aufweisen.

4 Digitale Bildentzerrung bei zerstörten Bauwerken

Weltweit sind viele Bauwerke durch Kriegseinwirkungen zerstört worden oder durch mangelnden Schutz und fehlende Sanierungsmaßnahmen verfallen. Das trifft auch auf einen nicht unerheblichen Teil der von MEYDENBAUER aufgenommenen Bauwerke zu. Sollen in diesem Fall maßstäbliche Informationen bis hin zu vollständigen Fassadenplänen mittels photogrammetrischer Techniken gewonnen werden, ist zunächst zu prüfen, ob noch Passpunktkoordinaten aus alten Messungen vorliegen oder aus his-

torischen Plänen abgegriffen werden können. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich Fehler des Planmaterials unmittelbar auf die Genauigkeit der Entzerrung auswirken. Ein Beispiel für die Entzerrung auf der Basis von historischen Unterlagen ist die zerstörte Schinkelsche Bauakademie in Berlin. Mit Hilfe der bekannten Achsmaße wurden die Hauptebenen des Gebäudes entzerrt und dienten als Grundlage für die Erstellung von Fassadenplänen. Die enge Kooperation zwischen dem beauftragten Architekturbüro, der fokus GmbH Leipzig als photogrammetrischem Dienstleister und dem Fachgebiet Photogrammetrie und Kartographie der Technischen Universität Berlin war die Voraussetzung für das Gelingen der Arbeiten. Mittlerweile ist die Nordostecke der Bauakademie auf der Basis der abgeleiteten Pläne mit klassischen Handwerksmethoden wieder originalgetreu aufgebaut worden.

Eine weitere Möglichkeit zur Beschaffung der Passpunktkoordinaten ergibt sich, wenn mehrere historische Aufnahmen des Bauwerks vorliegen. Dann können im günstigsten Fall die Aufnahmen in einem Bildverband orientiert und Koordinaten von Einzelpunkten bestimmt werden. Eine solche Bündelblockausgleichung mit Selbstkalibrierung ist aber relativ aufwändig und nur bei einer ausreichenden Bildanzahl und geeigneter Aufnahmeconfiguration erfolgreich einsetzbar. Ein Vorteil dieses Ansatzes besteht darin, dass sowohl zerstörte als auch noch vorhandene Fernziele (z. B. andere Gebäude oder Kirchtürme) entweder als Pass- oder als Verknüpfungspunkte in die Bündelgleichung eingehen können. Aktuelles Beispiel für diese Vorgehensweise ist die Rekonstruktion der Fassaden des Berliner Stadtschlösses. Die Fassadenpläne basieren auf digitalen Bildplänen im Maßstab 1 : 25. Für die Bildentzerrung wurden Passpunkte mit Hilfe einer Bündelgleichung berechnet. Neben den Fassadenplänen können aus den Ergebnissen der Bündelgleichung auch Stützpunkte für Profile abgeleitet werden. Bisher wurde nur ein kleiner Teil der Nordfassade des Stadtschlösses mit Fassadenplänen und Vertikalschnitten ausgewertet, welche aber exemplarisch das Potenzial

einer derartigen Vorgehensweise zeigen (STUHLEMMER 2000, WIEDEMANN et al. 2000, WIEDEMANN 2001).

Gelingt es, das historische Bildmaterial im Verband zu orientieren, besteht außerdem die Möglichkeit, Bilder mit Hilfe ihrer aus der Bündelgleichung bekannten Orientierungsdaten parametrisch zu entzerren. Dazu ist lediglich die Entzerrungsebene am Objekt zu definieren. Der Vorteil dieser Vorgehensweise besteht darin, dass die Passpunkte für die Bildorientierung nicht in der Entzerrungsebene liegen müssen. Daneben bietet sich auch die Möglichkeit, Maßinformationen unebener Objekte abzuleiten. So ist es durch die Auswahl und Festlegung deutlich sichtbarer Schnittebenen möglich, lichte Maße (z. B. Höhen oder Ausdehnungen) figürlichen Schmucks zu bestimmen. Das Verfahren ist eine Alternative zur Punktbestimmung aus der Bündelgleichung, da Objektdetails aufgrund der häufig vorhandenen schlechten fotografischen Qualität der Bilder oftmals nicht ausreichend in mehreren Bildern zu identifizieren sind. Anwendungsbeispiele für dieses Verfahren sind die Ableitung von Maßinformationen der Figur des Pegasus im Innenhof des Schloss Belvedere in Potsdam und der Kuppelfigur des Fortunaportals des zerstörten Potsdamer Stadtschlösses durch die fokus GmbH Leipzig.

Da jedoch häufig nur ein einzelnes Messbild eines Bauwerks vorliegt, ist zu untersuchen, welche Auswertemethoden in diesem Fall möglich sind. MEYDENBAUER nahm seine Bilder in einer bestimmten Konfiguration auf, die eine Auswertung nach einer von ihm aufgestellten Vorschrift ermöglichte. Um diese Regeln für die Entzerrung eines MEYDENBAUER'schen Messbilds zu verwenden, sind zunächst die geometrischen Bedingungen zu untersuchen, welche sich durch die Einhaltung der speziellen Aufnahmeconfiguration nach MEYDENBAUER ergeben. MEYDENBAUER ging bei den meisten seiner Aufnahmen nach folgenden Regeln vor:

1. Die Aufnahme wird mit einer horizontalen Kamera durchgeführt, d. h. Kantung und Neigung der Aufnahme sind Null.

2. Das Gebäude wird über Eck aufgenommen.
3. Statt der Neigung der Kamera wird eine Objektivverschiebung verwendet, um auch höhere Bauwerke erfassen zu können.

Für eine grafische Einbildauswertung nutzte MEYDENBAUER außerdem einige geometrische Bedingungen aus, denen zahlreiche Bauwerke unterliegen:

4. Das Gebäude besitzt im Grundriss rechtwinklige Ecken.
5. Am Gebäude sind senkrechte und waagerechte Gebäudekanten vorhanden.

Unter diesen Voraussetzungen hat MEYDENBAUER Auswertevorschriften abgeleitet, die eine grafische Auswertung einer Fassade aus nur einem Bild erlauben (MEYDENBAUER

1912). Dazu wurden aber die Kamerakonstante und die Aufnahmeentfernung von der Messbildanstellung vorgegeben. Während sich die Kamerakonstante sowohl näherungsweise nach MEYDENBAUER als auch genauer mit anderen Verfahren aus dem Bild bestimmen lässt (ETHROG 1984, NOVAK 1986), ist die Kenntnis der Aufnahmeentfernung Voraussetzung für eine maßstabstreue Entzerrung. Weil uns diese Angabe heute nicht mehr vorliegt, muss statt dessen eine horizontale und eine vertikale Strecke am Bauwerk bekannt sein. Die konstruktiven Anweisungen, die MEYDENBAUER für eine grafische Auswertung gibt, können dann ohne weiteres mit den Mitteln der analytischen Geometrie für konkrete Berechnungen verwendet werden, welche die Grundlage für eine digitale Bildentzerrung bilden.

Mit diesem Ansatz wurde ein historisches Messbild aus dem MEYDENBAUER-Archiv exemplarisch entzerrt. Dabei handelt es sich um das zerstörte Gebäude der Kommandantur in Berlin, Unter den Linden 1 (Abb. 7). Als Eingabedaten werden lediglich die Maße einer horizontalen und einer vertikalen Strecke benötigt. Für die Berechnung der Bildgeometrie sind jeweils zwei Paar horizontale und vertikale Objektkanten im Bild auszuwählen und zu messen. Nach der Berechnung der wesentlichen geometrischen Elemente des Bilds (Bildhorizont und Hauptsenkrechte, Kontrolle der



Abb. 7: Kommandantur in Berlin, historisches Messbild aus dem MEYDENBAUER-Archiv (1911).

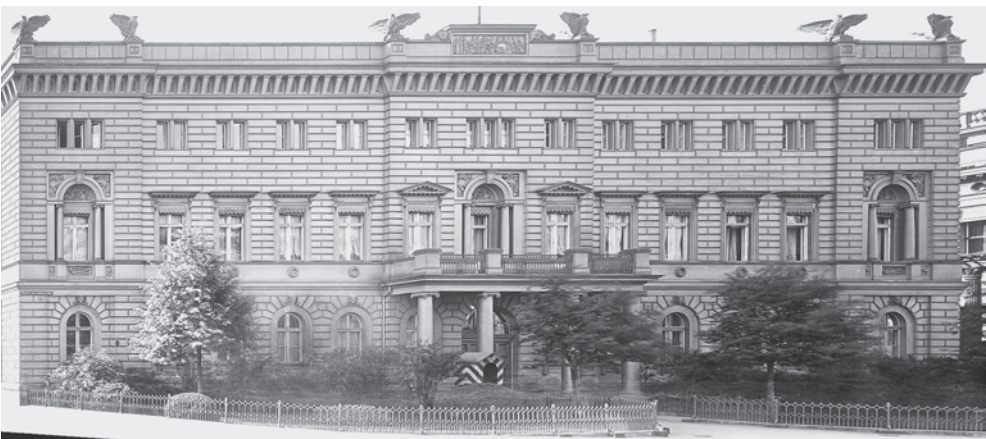


Abb. 8: Kommandantur in Berlin, entzerrtes Messbild (Originalmaßstab 1 : 50).

Neigung u.a.) kann die Transformation der Bildkoordinaten gemäß dem MEYDENBAUERSchen Ansatz erfolgen. Wie auch bei der projektiven Entzerrung wird ein indirekter Entzerrungsansatz verwendet.

In dem verwendeten Beispiel konnte eine waagerechte Strecke aus alten Aufmaßunterlagen entnommen werden. Da keine Höhen vorhanden waren, wurde zunächst eine vertikale Strecke willkürlich festgelegt. Das Ergebnis der Entzerrung war damit längs der Fassade bereits maßstabstreu, jedoch nicht in der Höhe. Aus Symmetriebedingungen architektonischer Details wurde anschließend ein Korrekturfaktor für die Höhe berechnet. Damit konnte aus dem historischen Messbild ein geometrisch korrekter und maßstabstreu entzerrter Bildplan erzeugt werden (Abb. 8), der als Grundlage für Rekonstruktionszeichnungen diente (siehe STUHLEMMER 2000). Die Genauigkeit hängt dabei von den gegebenen Werten für die horizontale und vertikale Strecke ab. Im Beispiel entspricht also die Lagegenauigkeit der Genauigkeit der Angaben aus dem historischen Aufmaß, die Höhengenaugigkeit hängt von der Korrektheit der Symmetrieverhältnisse der verwendeten Fassadenstrukturen ab.

Als Alternative zu dem hier vorgestellten Ansatz, welcher sich stark an der Vorgehensweise MEYDENBAUERS orientiert, kann auch eine strenge projektive Transformation mit vier Passpunkten, welche ein fiktives Objektrechteck bilden, für die geometrische Entzerrung des Bildes verwendet werden. Die Maßstabsinformation muss in diesem Fall ebenfalls in Form einer horizontalen und einer vertikalen Passstrecke vorliegen, anhand derer das Bild in den gewünschten Maßstab skaliert werden kann. Gegenüber der Bildentzerrung nach dem MEYDENBAUER'schen Ansatz besitzt diese Methode allerdings den Nachteil, dass nicht mehrere Fluchtlinien bei der Berechnung berücksichtigt werden können und keinerlei Kontrollmöglichkeiten (z. B. in Form der Bildkonstanten, der Bildneigung und anderer geometrischer Bildelemente) vorliegen.

Daneben gibt es aber noch weitere Möglichkeiten für die Entzerrung von histori-

schen Bildern: Durch die Ersetzung der Passpunktkoordinaten durch Passlinien in den Formeln der projektiven Transformation, lassen sich allgemeinere Ansätze für die Entzerrung ebener Objekte herleiten. Dabei können entweder ebenso Fluchtlinien und eine vertikale und eine horizontale Passstrecke verwendet werden (REGENSBURGER 1990) oder es werden Passpunkte mit Passstrecken beliebig kombiniert. Die vollständige Eliminierung der Passpunkte ist theoretisch bei der Verwendung von mindestens acht Passstrecken möglich (FINSTERWALDER 1991) und daher für die Entzerrung von Aufnahmen zerstörter Bauwerke nicht praktikabel. Neuere Ansätze gehen von zusätzlichen a-priori-Informationen über die Eigenschaften des abgebildeten Objekts aus. Dazu zählen vor allem Linearität, Parallelität und Orthogonalität innerhalb der Bauwerksstruktur. Einen Teil davon hatte erstaunlicherweise MEYDENBAUER bereits 1912 verwendet. Ein allgemeiner Ansatz wird in BRÄUER-BURCHARDT & VOSS (1999) vorgestellt: Nach der automatischen Detektion der Fluchtlinien werden zunächst die Fluchtpunkte bestimmt. Daraus lassen sich Hauptpunkt und Bildkonstante ermitteln. Die eigentliche Entzerrung basiert auf einer Hauptpunkt-Transformation. Eine andere Herangehensweise ist die in diesem Heft beschriebene Erweiterung eines Bündelansatzes um Bedingungen, welche sich aus den oben genannten Objektinformationen ergeben (VAN DEN HEUVEL 2001).

5 Verwendung entzerrter Messbilder für die 3D-Visualisierung

Entzerrte historische Bilder können dazu beitragen, den ursprünglichen Zustand historischer Bauwerke dreidimensional zu visualisieren. Voraussetzung für eine 3D-Visualisierung ist die Erstellung eines 3D-CAD-Modells des betreffenden Bauwerks, welches sich aus denjenigen Fassadenebenen zusammensetzt, die als Bezugsebenen für die einzelnen Entzerrungen dienen (Abb. 9 und 10). Die darauf projizierten Entzerrungen ermöglichen eine fotorealistische Ansicht des Objekts. Je detaillierter da-

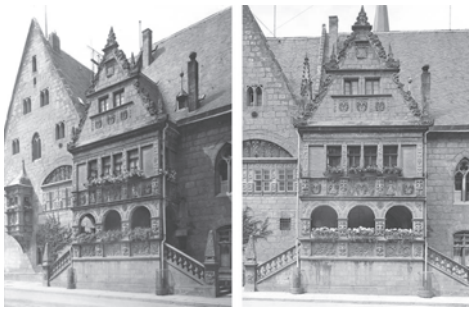


Abb. 9: Zwei historische Bilder des Rathauses in Halberstadt (1896 und 1912).



Abb. 10: 3D-Fotomodell der Ratslaube des Rathauses in Halberstadt.

bei das 3D-Fotomodell ist, um so realistischer erscheint die daraus abgeleitete Visualisierung; im gleichen Maße steigt aber auch der Aufwand bei der Bearbeitung. Die CAD-Daten basieren entweder auf den Ergebnissen einer Bündelausgleichung, oder sie werden anhand von historischen Planunterlagen konstruiert. Als Datenstruktur verwendet man am einfachsten VRML, wel-

ches neben seiner Übersichtlichkeit den Vorteil bietet, dass das 3D-Modell jederzeit mit einem entsprechenden Betrachter dreidimensional von beliebigen Richtungen aus betrachtet werden kann. Für eine Visualisierung des historischen Zustands in heutiger Umgebung können Ansichten des Photomodells für ausgewählte Aufnahmen der Örtlichkeit berechnet und in diese eingefügt werden. Diese Vorgehensweise setzt aber immer die relativ aufwändige Konstruktion eines 3D-Modells voraus.

Ein einfacherer Weg für die Visualisierung zerstörter Gebäudeteile oder ganzer Bauwerke in der heutigen Umgebung führt über die Bestimmung der Orientierungsparameter des verwendeten historischen Bildes. Dazu wird – soweit möglich – der Aufnahmeort und die Brennweite der Kamera photogrammetrisch ermittelt. Nach der Aufnahme der aktuellen Situation vom selben Standpunkt ist das Einfügen der historischen Bauwerksansicht in das Bild des heutigen Umfelds auf einfache Weise möglich (Abb. 11).

6 Zusammenfassung und Ausblick

Historische Messbilder lassen sich auf vielfältige Weise für photogrammetrische Auswertungen verwenden. Digitale Bildentzerrungen bieten dabei eine relativ einfache Möglichkeit, maßstäbliche Informationen für die weitere Bearbeitung bereitzustellen. Ist das betreffende Bauwerk zerstört und sind keine Unterlagen zu den Orientierungsdaten der Kamera vorhanden, ist trotzdem oft eine Entzerrung möglich. Insbesondere durch die Verwendung von Methoden aus der Digitalen Bildverarbeitung steht eine Vielfalt von unterschiedlichen Varianten für die Bildauswertung zur Verfügung. Kernpunkt aller Verfahren ist die Verbindung von Bildverarbeitungsalgorithmen mit photogrammetrischen Methoden und Ansätzen der analytischen Geometrie des Raumes, welche letztendlich schon die Grundlage für die Auswertevorschriften MEYDENBAUERS bildeten.

Oft ist aber auch eine zweistufige Vorgehensweise von Vorteil. Hierbei werden zu-



Abb. 11: Visualisierung der zerstörten Kommandantur in Berlin in heutiger Umgebung.

nächst dreidimensionale Objektinformationen mit Hilfe einer Bündelausgleichung abgeleitet. Diese dienen anschließend als Referenz für die Bildentzerrung. Wegen der starken Parametrisierung der Bündelausgleichung im Falle der Verwendung historischer Messbilder ist es in jedem Fall ratsam, sowohl Bedingungen im Objektraum, als auch hinsichtlich der Aufnahmeconfiguration einzuführen, um die Berechnung zu stabilisieren. Mit verbesserten Ansätzen werden hierbei in nächster Zeit noch genauere Ergebnisse zu erwarten sein.

Vorteilhaft ist auf jeden Fall die hohe geometrische und fotografische Qualität der MEYDENBAUER'schen Messbilder, die sich in Abhängigkeit von der Genauigkeit der vorhandenen Referenzinformationen bzw. der Exaktheit der getroffenen Annahmen zu Aufnahme- oder Objektsituation in entzerrte Messbilder und darauf basierende Fassadenpläne übertragen lässt.

Danksagung

Der Verfasser dankt Herrn Prof. Dr.-Ing. JÖRG ALBERTZ und Herrn ALBERT WIEDEMANN (Fachgebiet Photogrammetrie und Kartographie der TU Berlin) für ihre viel-

fältigen Anregungen und zahlreiche fachliche Diskussionen, insbesondere aber für die gute Zusammenarbeit bei den gemeinsam bearbeiteten Projekten. Besonderer Dank gilt auch Herrn REINER KOPPE, Leiter des Messbildarchivs beim Brandenburgischen Landesamt für Denkmalpflege, für seine hilfreichen Hinweise und die große Hilfsbereitschaft bei der Sichtung und Nutzung der historischen Messbilder. Zuletzt sei den Mitarbeitern der fokus GmbH Leipzig gedankt, insbesondere Herrn GUNNAR SIEDLER und Herrn GISBERT SACHER. Ohne ihre Sachkenntnis und die technologische und wirtschaftliche Basis wären sowohl die aufgeführten Entwicklungsarbeiten als auch die Bearbeitung der hier vorgestellten Objekte nicht möglich gewesen. Alle hier vorgestellten Bildbeispiele stammen aus bearbeiteten Projekten der fokus GmbH Leipzig.

Literatur

BRÄUER-BURCHARDT, CH. & VOSS, K., 1999: Monokulare Rekonstruktion unter Orthogonalitätsvoraussetzungen. – 21. DAGM Symposium Mustererkennung, Springer Verlag, Berlin: 197–204.

- BÜTTNER, H., 1972: Die Bestände des MEYDENBAUERSCHEN Denkmälerarchivs und ihr Schicksal im und nach dem zweiten Weltkrieg. – *Vermessungstechnik*, **20** (3): 87–90.
- BURKHARDT, R., 1958: Welchen Weg nahm das MEYDENBAUERSCHE Denkmälerarchiv? – *Bildmessung und Luftbildwesen*, **26** (4): 119–122.
- ETHROG, U., 1984: Non-metric camera calibration and photo orientation using parallel and perpendicular lines of the photographed objects. – *Photogrammetria*, **39**: 13–22.
- FINSTERWALDER, R., 1991: Zur Verwendung von Paßlinien bei photogrammetrischen Aufgaben. – *Zeitschrift für Vermessungswesen*, **1991** (2): 60–66.
- GRIMM, A., 1977: 120 Jahre Photogrammetrie in Deutschland. – *Abhandlungen und Berichte des Deutschen Museums*, **45** (2), 72 S.
- GRIMM, A., 1985: Albrecht MEYDENBAUER – ein Leben für die Photogrammetrie und Denkmalpflege. – *Wissenschaftlich-technische Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung*, Berlin: 13–21.
- HEMMLER, M. & SUTHAU, A., 1999: Digital Mapping of Spherical Surfaces for the Investigation of Historical Globes. – *Third Turkish-German Joint Geodaetic Days*, Istanbul: 387–394.
- HEMMLER, M. & SIEDLER, G., 1999: Abwicklung der Westapsis der Stiftskirche St. Cyriakus in Gernrode. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation*, **1999** (4): 287–288 und Titelbild.
- HEMMLER, M. & SIEDLER, G., 2000: Photogrammetrische Arbeiten für die Restaurierung des Marmorpalais im Neuen Garten in Potsdam. – *Vermessung Brandenburg*, **5** (2): 12–19.
- HEMMLER, M., SIEDLER, G. & SACHER, G., 2001: Digitale Bildverzerrungen und -abwicklungen für die Anwendung in Denkmalpflege, Bauforschung und Restaurierung. – *Von Handaufmaß bis High Tech*, Interdisziplinäres Kolloquium, TU Cottbus, 23.–26. Februar 2000: 74–82.
- KOPPE, R., 1996: Zur Geschichte und zum gegenwärtigen Stand des Meßbildarchivs. – In: ALBERTZ, J. & WIEDEMANN, A. (Hrsg.): *Architekturphotogrammetrie gestern – heute – morgen*: 41–57, TU Berlin.
- LI, C., 1996: Nachträgliche Kalibrierung der historischen MEYDENBAUER-Kameras. – In: ALBERTZ, J. & WIEDEMANN, A. (Hrsg.): *Architekturphotogrammetrie gestern – heute – morgen*: 63–77, TU Berlin.
- MEYDENBAUER, A., 1912: *Handbuch der Meßbildkunst*. – 1. Aufl., 245 S., Verlag Wilhelm Knapp, Halle.
- MEYER, R., 1985: ALBRECHT MEYDENBAUER – Baukunst in historischen Fotografien. – 1. Aufl., 260 S., Fotokinoverlag, Leipzig.
- MEYER, R., 1993: *Das Denkmäler-Archiv und seine Herstellung durch das Meßbild-Verfahren*. Denkschrift von ALBRECHT MEYDENBAUER 1896. Mit Vorwort und Kommentar von RUDOLF MEYER 1992. – 1. Aufl., 16 S., Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, Berlin.
- NOVAK, K., 1986: *Orientierung von Amateuraufnahmen ohne Paßpunkte*. – Dissertation, TU Wien.
- REGENSBURGER, K., 1990: *Photogrammetrie – Anwendungen in Wissenschaft und Technik*. – 1. Aufl., 228 S., Verlag für Bauwesen, Berlin: 130.
- SCHWIDEFSKY, K., 1971: ALBRECHT MEYDENBAUER – Initiator der Photogrammetrie in Deutschland. – *Bildmessung und Luftbildwesen*, **39** (5): 183–189.
- STUHLEMMER, 2000: *Rekonstruktion durch Präzision*. – In: Boddien, W. v. & Engel, H. (Hrsg.): *Die Berliner Schlossdebatte – Pro und Contra*. – 1. Aufl., 149 S., Berlin Verlag A. Spitz: 25–35.
- VAN DEN HEUVEL, F., 2001: *Object Reconstruction from a Single Architectural Image Taken with an Uncalibrated Camera*. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation*, **2001** (4): 247–260.
- WIEDEMANN, A., HEMMLER, M., ALBERTZ, J., 2000: *Reconstruction of historical buildings based on images from the MEYDENBAUER archives*. – *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, XXXIII, B5/2: 887–893, Amsterdam.
- WIEDEMANN, A., 2001: *Photogrammetrische Rekonstruktion zerstörter Bauten aus historischen Photographien*. – *Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung*, Band 9, Berlin (im Druck).

Anschrift des Verfassers:

Dipl.-Ing. MATTHIAS HEMMLER

fokus GmbH Leipzig

Gustav-Adolf-Str. 12

D-04105 Leipzig

Tel.: 0341-2178460

Fax: 0341-2178470

e-Mail: Hemmler@fokus-GmbH-Leipzig.de

Internet: <http://www.fokus-GmbH-Leipzig.de>

Manuskript eingegangen: Mai 2001

Angenommen: Mai 2001

Zur digitalen Projektion und Visualisierung von Türmen

ELLI PETSÄ, Athen (Griechenland)

Zusammenfassung: Dieser Beitrag behandelt die Abwicklung zylinder- und kegelförmiger Oberflächen, die in architekturphotogrammetrischen Dokumentationen häufig auftreten und als Problem der Einbildphotogrammetrie mit Amateurkameras zu betrachten sind. Es werden die Abwicklungs- und Visualisierungsvorgänge behandelt und an den Beispielen von Türmen fototexturierte 3D-Modelle gezeigt.

Summary: *Digital Projection and Visualisation of Towers.* This contribution discusses the development of cylindrical and conic surfaces, which are often encountered in architectural documentation and may be regarded as a question of single-image photogrammetry with amateur cameras. The processes of development and visualisation are outlined, and photo-textured 3D models are presented at the examples of towers.

Einleitung

In der architekturphotogrammetrischen Dokumentation trifft man sehr oft auf Oberflächen, die regelmäßig gekrümmt sind und meistens als mathematische Körper zweiter Ordnung beschrieben werden können. Am häufigsten handelt es sich dabei um Zylinder, Kegel und Sphären. Im allgemeinen bietet in solchen Fällen das Endprodukt einer konventionellen Orthogonalprojektion dem Architekten bzw. dem Archäologen keine akzeptable Lösung, d.h. solche Objekte sollen in anderen geeigneten Projektionen verebnet werden (THEODOROPOULOU 2000). Um den kostengünstigen Charakter der gegenwärtigen Architekturphotogrammetrie beizubehalten, sollten die entsprechenden Verfahren durch einfache Mittel ausführbar sein, vor allem durch die Bearbeitung von Klein- oder Mittelformatbildern auf Standard-PCs.

Aber welche Abbildung ist jeweils die am besten geeignete? Die Antwort auf diese Frage ist bei doppelt gekrümmten Oberflächen auf keinen Fall trivial (z. B. bei sphärischen Gewölben). In manchen Fällen könnte man vielleicht von Anfang an eine gegebene kartographische Abbildung wählen, wie im Fall der abstandstreuen zylind-

rischen Abbildung für die Darstellung von Globusoberflächen (SACHER et al. 1999). Aber das ist nicht immer möglich, vor allem nicht in der häufigen Fällen, in denen die Benutzer des Endproduktes selbst nicht in der Lage sind, eine bestimmte Projektion festzulegen. Als einzige Alternative erscheint dann das Experimentieren mit verschiedenen Abbildungen, abhängig von den Forderungen der jeweiligen Anwendung. Das war beispielsweise der Fall bei der digitalen Auswertung von byzantinischen Wandgemälden auf sphärischen Oberflächen, wo sich die endgültige Wahl der Mollweide-Abbildung als Ergebnis mehrerer Transformationsversuche ergab (KARRAS et al. 1997).

Kegel und Zylinder sind dagegen abwickelbare Flächen und können ohne weiteres mit einheitlichem Maßstab in die Ebene ausgebreitet werden (KARRAS et al. 1996, HEMMLEB & WIEDEMANN 1997, THEODOROPOULOU et al. 2001). Die geometrisch korrekte Darstellung ist zweifellos die wichtigste Forderung einer Dokumentation. Eine fotorealistische Visualisierung mit Bildtextur wird jedoch oft zusätzlich verlangt. Das digitale Abwicklungsprodukt stellt dafür die ideale Textur dar. Dieser Beitrag behandelt kurz die Entfaltung und die fototexturierte

Visualisierung von zylindrischen bzw. kegelförmigen Oberflächen am Beispiel von drei Türmen.

1 Der Abwicklungsvorgang

Die digitale Auswertung von Objekten, die näherungsweise als mathematische Körper zu betrachten sind, ist im Prinzip eine Methode der Einbildphotogrammetrie. Jeder Objektpunkt einer konkaven bzw. konvexen Oberfläche kann sich eindeutig als der Schnitt des entsprechenden Strahles eines durch die innere und äußere Orientierung festgelegten Bildbündels mit dem ausgleichenden Körper ergeben. Da zu allen Objektpunkten entsprechende Punkte der Abwicklungsebene (allgemeiner der Projektionsebene) eindeutig korrespondieren, ist damit auch die Korrespondenz zwischen Bild- und Abwicklungskoordinaatensystem eindeutig festgelegt. In diesem Sinne erlaubt die Rückprojektion von der Abwicklungsebene auf die Oberfläche und davon auf die Bildebene, die Interpolation der gesuchten Grauwerte des digitalen Endproduktes (KARRAS et al. 1996). Ergebnis dieses Prozesses sind abgewickelte Bilder, die dann zu einem einheitlichen Mosaik verknüpft werden sollen. Das erfolgte hier interaktiv über den Hintergrund der „abgewickelten“ Passpunkte.

Dieser Vorgang setzt a) die bekannte Gleichung des Körpers und b) bekannte Bildorientierungen voraus. Für (a) wird ein Objektpunkthaufen benötigt, der geodätisch oder photogrammetrisch durch eine Bündelblockausgleichung gemessen sein kann. Das Letztere würde mehr überlappende Bilder als sonst für die Auswertung nötig verlangen, was in sich ein Problem bei der Aufnahme hoher Objekte aus unkonventionellen Kameraplattformen (siehe folgende Beispiele 2, 3) darstellt. Abhängig von Objektform und Umgebung kann es auch sein, dass man mit mehreren Zoom-Objektiven und -Fokussierungen aufnehmen muß (siehe Beispiel 3), was komplizierte „block-variante“ Bündelblockausgleichungen hervorbringen würde.

Aus diesen Gründen wurden hier alle Objektpunkte, die auch als Passpunkte dienten, geodätisch erfasst. Die innere Orientierung aller Aufnahmen war völlig unbekannt. Eine Ausnahme bildete die von vornherein bekannte Radialverzeichnungskorrektur eines Weitwinkelobjektivs. Sowohl für den Rückwärtseinschnitt als auch für den Resamplingprozess wurde deshalb die Direkte Lineare Transformation oder DLT (ABDEL-AZIZ & KARARA 1971) mit zahlreichen Passpunkten eingesetzt, die für unkalibrierte Amateurbilder besonders gut geeignet ist.

2 Genauigkeitsüberlegungen

Die Genauigkeit der Projektion ist vor allem vom Schnittwinkel des jeweiligen Bündelstrahles mit der mathematischen Oberfläche abhängig, durch welchen sich die Messfehler und die Restfehler der äußeren Orientierung in die Projektionsebene fortpflanzen. Dieser Schnittwinkel muss deshalb relativ groß sein, d.h. ein zylindrischer oder kegelförmiger Körper sollte im allgemeinen aus wenigstens sechs Bildern abgewickelt werden, die um ihn herum gut verteilt sind (KARRAS et al. 1996). Aus dieser Perspektive ist auch der Einsatz von Normal- anstelle von Weitwinkelobjektiven zu bevorzugen. Deformationen bzw. Abweichungen des realen Objekts vom idealen ausgleichenden Körper verursachen Versetzungen der Abbildung, die ebenfalls vom jeweiligen Schnittwinkel abhängen. Solche „gefährlichen“ Teile der Oberfläche sind möglichst frontal aufzunehmen.

3 Visualisierung

Die maßstabsgerechte Information einer Auswertung ist, wie gesagt, die primäre Forderung der Dokumentation. Heutzutage erweisen sich jedoch oft auch visuelle Produkte als besonders nutzbar, z. B. für archäologische und architekturelle Animierungen oder für den „virtuellen Tourismus“. In dieser Hinsicht wächst die Bedeutung sowohl der Web-basierten als auch frei und leicht zu „browsenden“ VRML-Modelle, insbesondere mit realistischer, aus den Originalbildern entnommener Fototextur.

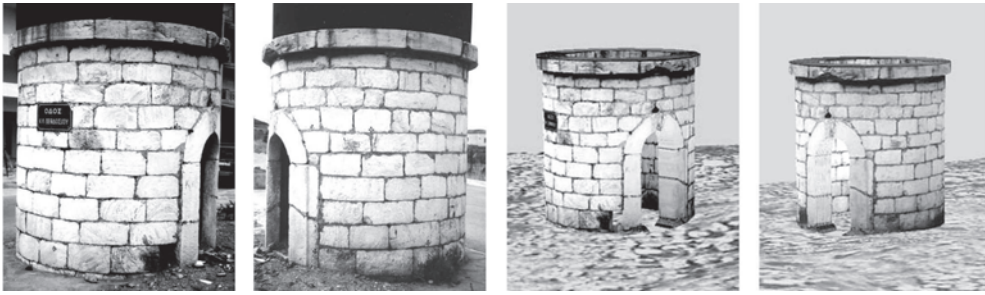


Abb. 1: Zylindrischer Wasserturm. Originalbilder (links) und virtuelle Bilder (rechts).

Im vorliegenden Fall braucht man eigentlich das Bildmaterial zylindrischer Oberflächen nicht weiter zu bearbeiten, denn das Abwicklungsmosaik selbst stellt eine maßstabsgetreu entzerrte Textur dar; man sollte nur das Mosaik an allen Öffnungen transparent machen. Für einen Kegel braucht man dagegen die Abwicklung als orthogonales Bild, nämlich in einer Abbildung, deren Maßstab in der Richtung der Kegelachse abnimmt (KARRAS et al. 2001). Das 3D-Modell ist einfach zu konstruieren, und auf das Geländemodell zu stellen und zu orientieren. Um den Eindruck der „Dicke“ an den Öffnungen eines z. B. konvexen Körpers zu erzeugen, dupliziert man mehrmals (so dicht und tief wie nötig) die Körperoberfläche im Inneren mit einem stetig abnehmenden Durchmesser. Falls für die innere Oberflä-

che keine Textur vorhanden ist, so könnte man diese auch mit demselben Bildmaterial überlagern lassen.

4 Praktische Anwendungen

Der eben umschriebene Abwicklungs- und Visualisierungsvorgang wurde in drei Fällen angewandt.

Beispiel 1: *Kleiner zylindrischer Wasserturm*

Das Objekt, dessen Höhe 2,5 m beträgt, besitzt einen Radius von 1,25 m; sein Kronenradius ist 1,35 m. Es wurde von 6 Standpunkten auf 35 mm-Film mit einer Brennweite von 70 mm erfasst. Der ausgleichende Zylinder stützte sich auf 24 Passpunkte und zeigte eine mittlere Radialabweichung von

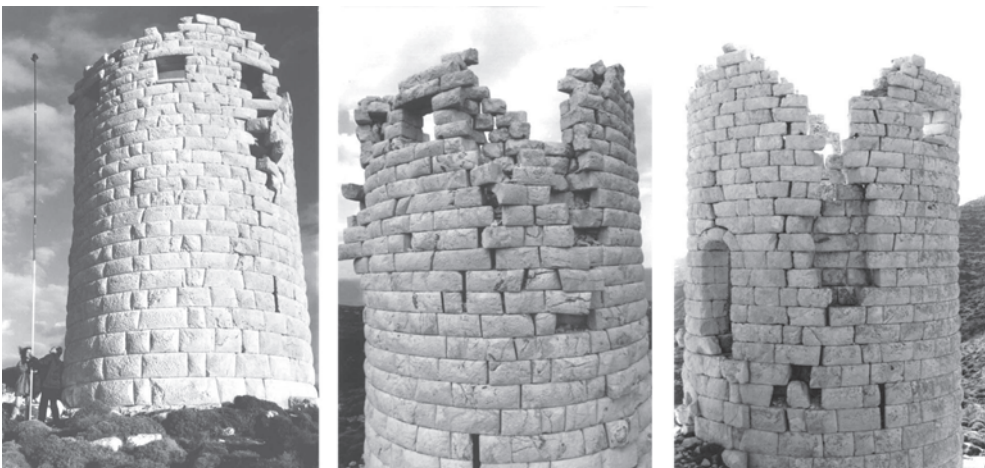


Abb. 2: Antiker zylindrischer Turm auf der Insel Icaria im Ägäischen Meer.

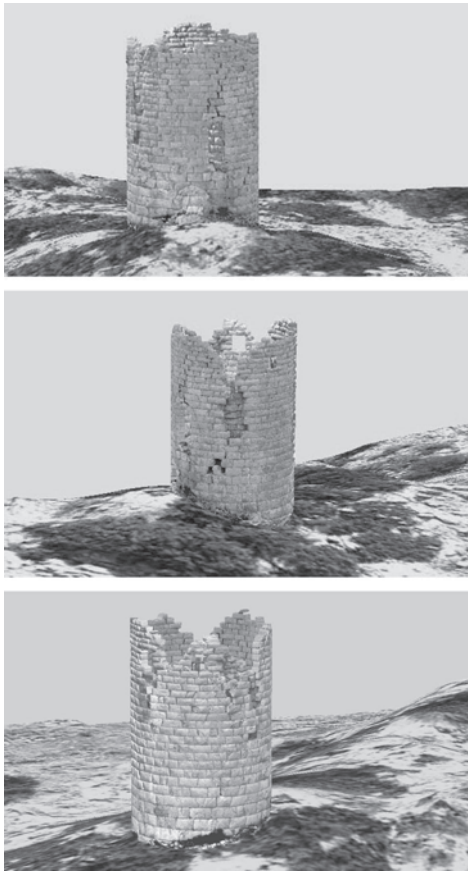


Abb. 3: Foto-texturierte Bilder des Turms der Abb. 2.

ungefähr 1 cm. Die 2D-Ähnlichkeitstransformation zwischen Mosaik und „abgewickelten“ Passpunkten erlaubte eine Genauigkeitsschätzung von 1 cm auf der Abwicklungsebene (KARRAS et al. 1996). Zwei Ansichten des photorealistischen VRML-Modells sind in Abb. 1 (rechts) wiedergegeben. Zusätzlich sieht man auch zwei der 6 Originalaufnahmen (Abb. 1, links).

Beispiel 2: Antiker zylindrischer Turm

Die Verfasserin wurde vom griechischen Kultusministerium mit der digital-photogrammetrischen Auswertung im Maßstab 1 : 25 der äußeren zylinderförmigen Oberfläche eines archäologisch bedeutenden

antiken Turmes beauftragt (~ 300 v. Chr.). Das Monument, mit einem äußeren Durchmesser von 8,5 m und einer Höhe von 12 m, befindet sich auf relativ flachem Gelände in einer isolierten Gegend der Insel Ikaria im Ägäischen Meer und ist nur zu Fuß zugänglich.

Der Turm hat schwere Deformationen erlitten, die sich stellenweise als erhebliche Abweichungen vom idealen Zylinder ausdrücken. Trotz der Ausschaltung dieser Stellen vom Ausgleichsvorgang, an dem 90 Passpunkte teilnahmen, betrug die mittlere Radialabweichung 6,8 cm, was zum Teil den stark gewölbten Steinen zuzuschreiben ist. Zum Zweck der Frontalaufnahme wurde eine leichte 35 mm-Kamera mittels einer zusammensteckbaren Angelrute gehoben, die durch zusätzliche Stangen bis zu einer Höhe von 9 m reichen kann (Abb. 2, links) und Aufnahmen guter Qualität im mittleren Maßstab ~ 1 : 300 ermöglichte (Abb. 2, Mitte und rechts). Durch dieses Mittel wurde der Turm in zwei Höhen von jeweils 8 Standpunkten aus fotografiert, wobei für jedes Bild nicht weniger als 15 Passpunkte vorhanden waren. Alle Bilder wurden danach mit einer Pixelgröße im Objekt-Abwicklungsraum von 2,5 mm abgewickelt und interaktiv geometrisch und radiometrisch zu einem Mosaik vereinigt. Das Mosaik wurde zuletzt den Passpunkten durch Affintransformation mit einer mittleren Abweichung um 3 cm angepasst. Diese Genauigkeitsschätzung beschränkt sich lediglich auf die Passpunkte, die den ausgleichenden Körper bestimmen, d. h. die Fehler an den Stellen der Deformation können nicht genau geschätzt werden (THEODOROPOULOU et al. 2001). Die Genauigkeitsabweichung von 3 cm ist zwar zu groß für den gewünschten Maßstab, aber von vornherein lag es fest, dass man wegen der Objektabweichungen vom „Soll-Zustand“ mit einem solchen Fehler rechnen musste.

Das 3D-Zylindermodell wurde mit der Textur des Abwicklungsmosaiks überlagert und maßstabsgerecht auf das geodätisch gemessene, ebenfalls foto-texturierte Gelände angepasst (KARRAS et al. 2001). In Abb. 3 sind Ansichten des VRML-Modells zu sehen.

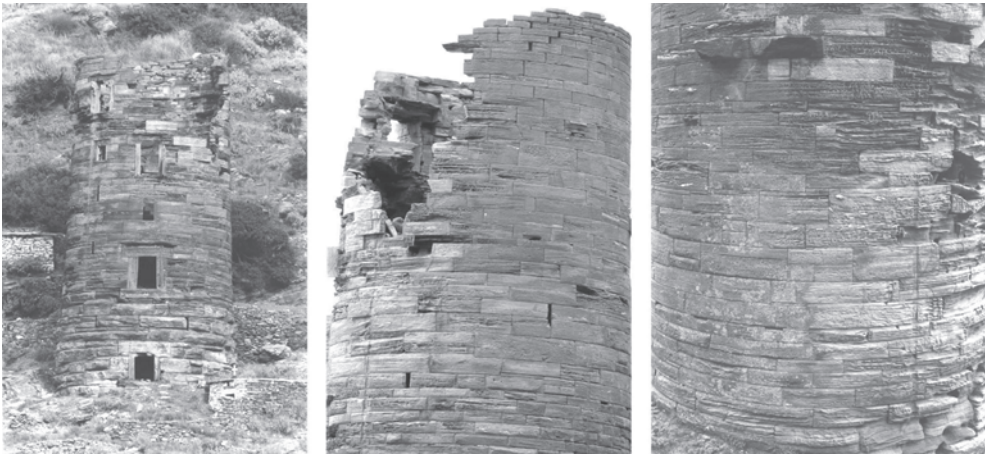


Abb. 4: Kegelförmiger antiker Turm auf der Insel Andros im Ägäischen Meer.

Beispiel 3: *Antiker kegelförmiger Turm*

Ein weiterer Auftrag seitens des griechischen Kultusministeriums betraf die photogrammetrische Auswertung eines anderen, in diesem Fall kegelförmigen Turmes der gleichen Epoche, ebenfalls im Maßstab 1 : 25. Die äußeren Durchmesser dieses Turmes betragen etwa 10 m am Fuß und 8,5 m am oberen Rand, während seine Höhe bis zu 19 m reicht. Das Monument, das ebenfalls nur zu Fuß zugänglich ist, liegt auf der Insel Andros im Ägäischen Meer auf steil abfallendem Gelände.

Auch hier kann man erhebliche, die Regelmäßigkeit der Turm-Oberfläche störende Deformationen feststellen, die von der Ausgleichung ausgeschlossen wurden. Die mittlere Abweichung aus 200 Objektpunkten betrug 5,2 cm normal zu der Oberfläche. Wegen der Höhe des Turmes erwies sich hier der Einsatz des obengenannten Kameraträgers als unpraktisch. Stattdessen wurden eine klein- und eine mittelformatige Kamera mit verschiedenen Zoom-Objektiven benutzt, um den Turm möglichst frontal aus der hügeligen Umgebung aufzunehmen. Man schaffte es sogar auch aus sehr großen Entfernungen zu fotografieren, dank einer Brennweite von fast 1 m, wie sie aus dem Zusammenwirken eines 300 mm Tele-Objektivs mit zwei 1,4 × bzw. 2 × Tele-Konver-

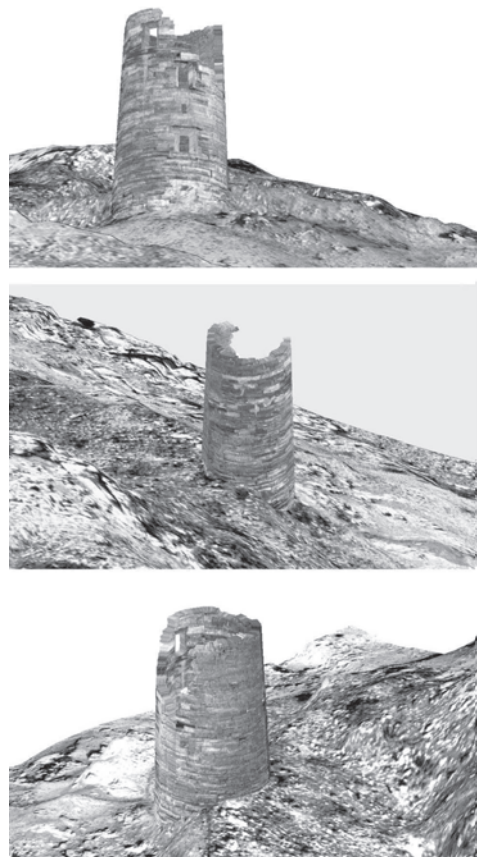


Abb. 5: Foto-texturierte Bilder des Turms der Abb. 4.

tern resultierte. Das Monument wurde auf diese Weise von 7 Standpunkten aus zwei Höhen aufgenommen. Auch hier waren für jedes Bild viele Passpunkte vorgesehen. In Abb. 4 sind eine allgemeine Ansicht (links) und zwei der benutzten Bilder zu sehen. Die Pixelgröße der Abwicklung war ebenfalls 2,5 mm. Der mittlere Restfehler der Affintransformation zwischen Mosaik und Passpunkten betrug 4 cm (THEODOROPOULOU et al. 2001).

Für die erfolgreiche Foto-Texturierung eines 3D-Kegelmodells braucht man, wie schon erwähnt, die „gekrümmte“ Form des Mosaiks nur so umzubilden, dass es das orthogonale Digitalbild völlig ausfüllt. Der Kegel wurde danach auf das Geländemodell orientiert und dessen erheblichen Höhenunterschieden angepasst (KARRAS et al., 2001). In Abb. 5 sind Ansichten des VRML-Modells zu sehen.

5 Schlusswort

Regelmäßig gekrümmte Oberflächen kommen in der Architekturphotogrammetrie häufig vor und sind in geeigneten Abbildungen darzustellen. Diese einbildphotogrammetrische Aufgabe kann man in der Regel kostengünstig mit einfachen Mitteln lösen, nämlich mit Amateurkameras und eigener Software. Bisherige Erfahrungen, wie sie auch hier bei der Abwicklung zylinder- und kegelförmiger Türme vorgestellt wurden, sprechen dafür, dass man auch unter ungünstigen Aufnahmebedingungen Produkte hoher Qualität erwarten kann. Die Visualisierung mit Foto-Textur erscheint dann als relativ einfach.

Zum Schluss seien zwei offene Fragen erwähnt. Das Problem der nicht abwickelbaren Oberflächen erscheint komplizierter, insbesondere soweit es die Wahl der geeigneten Projektion betrifft. Eine weitere und vielleicht interessantere Frage würde lauten: wie könnte man eine gekrümmte Oberfläche, die stellenweise von dem entsprechenden analytischen Körper erheblich abweicht, genauer verebnen, nämlich mit Einbeziehung ihrer eigentlich existierenden Form?

Danksagung

Besonderer Dank wird den Studenten AMALIA DIMAROGONA und STEFANOS KOUROUPIS für ihre Teilnahme an die Vorbereitung der virtuellen Produkte ausgedrückt.

Literatur

- ABDEL-AZIZ, Y. I. & KARARA, H. M., 1971: Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. ASP Symposium on Close-Range Photogrammetry, Falls Church, Virginia, S. 1–18.
- HEMMLER, M. & WIEDEMANN, A., 1997: Digital rectification and generation of orthoimages in architectural photogrammetry. International Archives of Photogrammetry & Remote Sensing, XXXII, 5C1B: 261–267.
- KARRAS, G. E., PATIAS, P. & PETSAS, E., 1996: Monoplotting and photo-unwrapping of developable surfaces in architectural photogrammetry. International Archives of Photogrammetry & Remote Sensing, XXXI, 5: 290–294.
- KARRAS, G. E., PATIAS, P., PETSAS, E. & KETIPIS, K., 1997: Raster projection and development of curved surfaces. International Archives of Photogrammetry & Remote Sensing, XXXII, 5C1B: 179–185.
- KARRAS, G. E., PETSAS, E., DIMAROGONA, A. & KOUROUPIS, S., 2001: Photo-textured rendering of developable surfaces in architectural photogrammetry. International Symposium on Virtual & Augmented Architecture, Dublin, 21–22 Juni, Springer Verlag, S. 147–158.
- SACHER, G., HEMMLER, M. & SCHEER, A., 1999: Abbildung von Globusoberflächen in die Ebene mit Hilfe digitaler photogrammetrischer Methoden. Der Globusfreund, 47–48: 305–320.
- THEODOROPOULOU, I., 2000: The definition of reference surfaces for architectural photogrammetry. International Archives of Photogrammetry & Remote Sensing, XXXIII, 5: 830–837.
- THEODOROPOULOU, I., PETSAS, E. & KARRAS, G. E., 2001: Digital surface development of large cylindrical and conic structures with a single-image technique. The Photogrammetric Record, 17(97): 25–37.

Anschrift der Verfasserin:

Prof. ELLI PETSAS, Department of Surveying
Technological Educational Institute of Athens
GR-12210 Athens, Greece

Tel.: +30 1 8622884, e-mail: petsa@teiath.gr

Halbautomatische Gebäudeauswertung durch Integration von hybrider Ausgleichung und 3D Objektmodellierung

FRANZ ROTTENSTEINER, Wien (Österreich)

Zusammenfassung: Es wird eine neue Methode zur halbautomatischen Gebäudeextraktion aus digitalen Luftbildern nach dem Prinzip der Constructive Solid Geometry (CSG) vorgestellt. Jedes Gebäude wird aus einfachen Gebäudeprimitiven zusammengesetzt, wobei die einzelnen Primitive durch den Benutzer in den Bildern näherungsweise und mit Hilfe von Bildzuordnungsverfahren exakt positioniert werden. Fertig rekonstruierte Gebäude werden in einem topographischen Informationssystem (TIS) gespeichert.

In allen Phasen dieses Auswerteprozesses übernimmt eine neue Methode der Integration von robuster Parameterschätzung und Objektmodellierung durch Randdarstellung (Boundary Representation) eine Schlüsselrolle.

Diese Arbeit beschreibt die neue Methode und präsentiert die Ergebnisse eines Testprojektes.

Abstract: *Semi-automatic building extraction by integrating hybrid adjustment and 3D object modelling techniques.* A new method for semi-automatic building extraction from digital aerial images is presented. The new method is based on the principles of Constructive Solid Geometry (CSG). Each building consists of a set of simple building primitives which are reconstructed individually. The building primitives are approximately located in the images by the user. Fine measurement is automated by applying image matching techniques. The reconstructed buildings are stored in a Topographic Information System (TIS).

In all phases of the reconstruction process, a key role is taken over by a new method for the integration of parameter estimation and object modelling by boundary representation.

In this paper, the new method is described, and the results of a test project are presented.

1 Einleitung

Der große Bedarf an 3D-Gebäudemodellen für verschiedene Anwendungen kollidiert mit den enormen Kosten für die Erfassung dieser Daten im dafür benötigten Detaillierungsgrad, weshalb die Automatisierung der Auswertung von Gebäuden als notwendig erscheint. Allerdings stellt die Lösung dieses Problems auf Grund der großen Zahl möglicher Gebäudeformen eine große wissenschaftliche Herausforderung dar. Es wurden und werden Versuche unternommen, um Gebäude automatisch aus digitalisierten Luftbildern (z. B. LANG 1999) oder aus digitalen Oberflächenmodellen (DOM), die aus Laserscannerdaten gewonnenen wurden (z. B. WEIDNER 1997), zu extrahieren. Weiter gibt es einen Trend zur Kombination von Datensätzen verschiedener Her-

kunft, z. B. von existierenden 2D GIS-Datensätzen mit einem DOM (z. B. BRENNER 2000) oder von digitalisierten Luftbildern und einem DOM (AMERI 2000). Obwohl beachtliche Fortschritte erzielt wurden, gibt es noch keine operationellen Systeme für die vollautomatische Gebäuderekonstruktion. Die Gründe dafür liegen einerseits in der Komplexität der Aufgabe, weil für die semantische Interpretation der Daten eine Modellierung von vielen Objektklassen nötig ist, und andererseits in den Problemen, die sich aus den Eigenschaften der verwendeten Sensoren ergeben (Sensorrauschen, fehlende Objektteile auf Grund von Verdeckungen).

Um der Komplexität der Aufgabe gerecht zu werden und dennoch kostengünstige Methoden zur Erfassung von Gebäudedaten zur Verfügung stellen zu können, bietet sich

als Kompromiss die Entwicklung von halbautomatischen Verfahren zur Gebäudeextraktion an, bei denen die semantische Interpretation der Daten und die Herausfilterung der relevanten Information durch den Menschen erfolgt, während gewisse Teilaufgaben durch den Computer gelöst werden können.

VAN DEN HEUVEL (2000) unterscheidet zwei Arten von halbautomatischen Systemen zur photogrammetrischen Objektrekonstruktion. Bei der ersten Gruppe von Systemen erfolgt die Messung von Punkten und die Erfassung von Strukturdaten interaktiv, z. B. an einer digitalen photogrammetrischen Station. Aus der so gewonnenen, mehr oder weniger stark strukturierten Punktwolke wird dann automatisch die Topologie der Gebäude abgeleitet, um zu einem vollständigen Modell zu kommen. Ein Beispiel für ein nach diesem Prinzip arbeitendes System ist der *CyberCity Modeler* (GRÜN & WANG 1998). Bei der zweiten Gruppe von Systemen ist die Objektmodellierung direkt in die photogrammetrische Auswertung integriert. Es werden einfache Gebäudemodelle sowie Werkzeuge zu deren Bearbeitung vom System vorgegeben. Der Benutzer wählt auf Basis einer visuellen Interpretation ein passendes Modell aus und positioniert es mit Hilfe von interaktiven Werkzeugen näherungsweise in den Bildern. Die Feinmessung erfolgt dann automatisch mit Hilfe von Bildzuordnungstechniken, z. B. GÜLCH et al. 1998.

Für die Modellierung der Gebäude kommen vorwiegend zwei Modellierungstechniken zur Anwendung, z. B. (GÜLCH et al. 1998): *Randdarstellung*, also die Modellierung eines Objektes durch seine begrenzenden Flächen, Kanten und Ecken sowie deren Nachbarschaftsbeziehungen, und *Constructive Solid Geometry* (CSG), die Modellierung von Gebäuden durch einfach geformte volumetrische Primitive, die mit Hilfe Boolescher Mengenoperatoren kombiniert werden können. Das Prinzip der Modellierung durch Randdarstellung ist sehr allgemein und besonders gut für Visualisierungen geeignet. Allerdings ist die Erzeugung von Randdarstellungen ohne unterstützende

Werkzeuge sehr aufwendig. Unter Verwendung des CSG-Prinzips können mit geeigneten Werkzeugen zum Bearbeiten der Primitive Gebäudemodelle sehr effizient erfasst werden.

Tatsächlich werden zur Gebäudeextraktion oft hybride Modellierungstechniken verwendet (MÄNTYLÄ 1988: S. 123). Dabei wird dem Benutzer eine CSG-Schnittstelle zur Verfügung gestellt, während für die Visualisierung sowie als Schnittstelle zu CAD-Programmen die Randdarstellung aus der CSG-Repräsentation abgeleitet wird. Solche Modellierungstechniken können dahingehend charakterisiert werden, ob die interne Repräsentation der Objekte in Randdarstellung oder durch CSG erfolgt.

In dieser Arbeit soll ein am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien (I.P.F.) entwickeltes neues System zur halbautomatischen Gebäudeextraktion aus digitalen Luftbildern durch Integration von Objektmodellierung und photogrammetrischer Auswertung vorgestellt werden. Ziel dieses Systems ist die Erfassung von Randdarstellungen von Gebäuden für ein *Topographisches Informationssystem* (TIS). Es gibt vor allem zwei wesentliche Errungenschaften dieser neuen Methode. Erstens wurde ein neues Verfahren zur Integration von Objektmodellierung durch Randdarstellung und Parameterschätzung entwickelt, bei dem die Randdarstellung eines Gebäudes in einer hybriden Ausgleichung repräsentiert wird. Dafür werden „GESTALT-Beobachtungen“ im Programmsystem ORIENT benutzt (KAGER 1989). Zweitens wurde eine objekt-relationale Methode zur Verwaltung von 3D-Gebäudemodellen in einem TIS entwickelt, die auf einer Erweiterung des im Programm SCOP.TDM zur landesweiten Verwaltung von Geländedaten verwendeten Prinzips beruht (HOCHSTÖGER 1996).

In der Folge werden das neue System und die Ergebnisse eines Pilotprojektes beschrieben. Der Schwerpunkt der Darstellung liegt auf dem Ansatz zur Integration von Objektmodellierung und Parameterschätzung sowie dessen Anwendung in allen Phasen des Arbeitsablaufs.

2 Halbautomatische Gebäudeauswertung

2.1 Systemübersicht und Arbeitsablauf

Das neue Verfahren zur Gebäudeauswertung wurde als Modul des am I.P.F. entwickelten Programmes ORPHEUS realisiert. ORPHEUS stellt einerseits eine graphische Benutzeroberfläche für das Programmsystem ORIENT zur Ausgleichung hybrider Beobachtungen (KAGER 1989) und andererseits einen digitalen Mehrbild-Monokomparator zur interaktiven Messung von Punkten und Generierung von 3D-Fotomodellen dar (ROTTENSTEINER 2001).

Grundlage des vorzustellenden Verfahrens ist die Integration von Objektmodellierung und photogrammetrischer Auswertung (VAN DEN HEUVEL 2000). Als Ausgangsmaterial liegen digitale Luftbilder in verschiedenen Auflösungen sowie deren Orientierungsparameter vor. Falls vorhanden, kann ein digitales Geländemodell (DGM) verwendet werden, um die Höhen der Bodenpunkte der Gebäude zu interpolieren. Es wird eine Datenbank mit einfachen Gebäudeformen zur Verfügung gestellt, die sowohl parametrische Gebäudeprimitive als auch prismatische Gebäudetypen enthält. Während durch diese Datenbank und die entsprechenden Werkzeuge zur Bearbeitung der Primitive eine CSG-Benutzerschnittstelle vorgegeben wird, erfolgt die interne Modellierung sowohl der Primitive als auch des zusammengesetzten Gebäudes durch Randdarstellung. Wie an späterer Stelle noch näher erläutert, wird es dadurch dem Benutzer ermöglicht, auf einfache Weise neue parametrische Primitive zu definieren.

Abb.1 zeigt das Ablaufdiagramm der halbautomatischen Auswertung eines Gebäudes. Nach der Initialisierung des Gebäudes wird es vom Benutzer sukzessive aus Primitive aus der Datenbank der Gebäudeformen mit Hilfe von Booleschen Operatoren zusammengesetzt. Dabei sind mindestens zwei digitale Bilder am Bildschirm dargestellt, denen alle bereits ausgewerteten Ge-

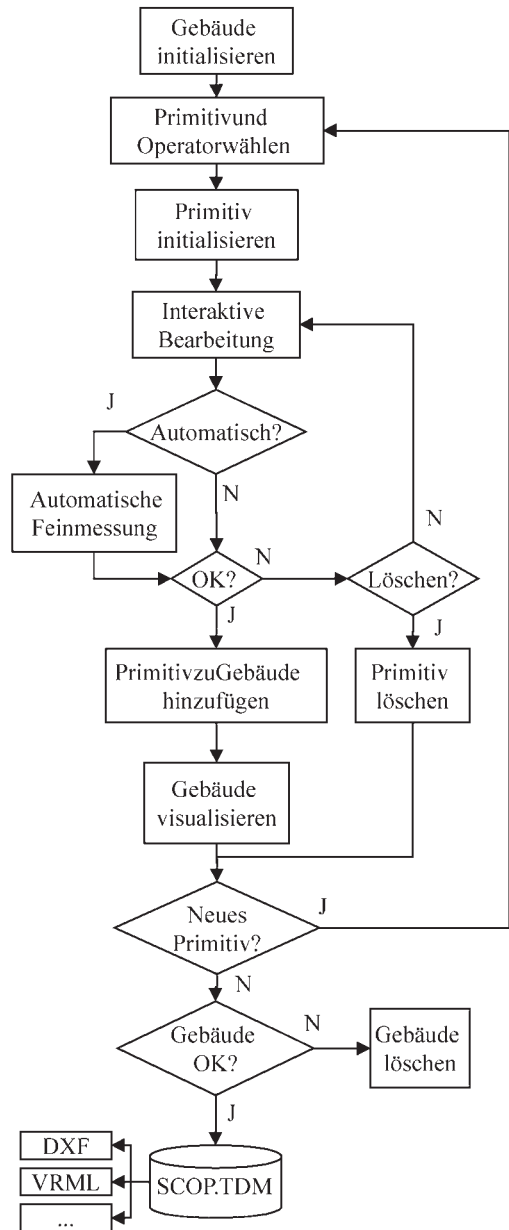


Abb. 1: Ablaufdiagramm der halbautomatischen Gebäudeauswertung.

bäude, das aktuelle Gebäude und das aktuelle Primitiv als Drahtmodelle, durch unterschiedliche Farben gekennzeichnet, überlagert sind (Abb. 2).

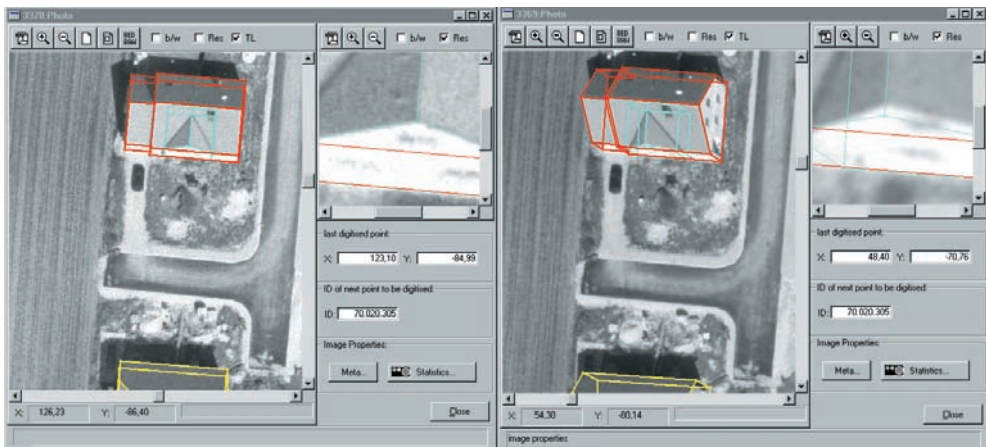


Abb. 2: Visualisierung zweier Luftbilder für die Gebäudeextraktion. Gelb: bisher erfasste Gebäude. Rot: aktuelles Gebäude. Cyan: aktuelles Primitiv.

Um ein Primitiv zu bearbeiten, kann der Benutzer in den Bildern Gebäudeecken messen. Nach jeder Interaktion werden die Parameter des Primitives aus den vorhandenen Beobachtungen geschätzt und die Darstellung der Drahtmodelle erneuert. Auf Wunsch kann die automatische Feinmessung durchgeführt werden. Danach kann das Primitiv weiter interaktiv bearbeitet werden, bis der Benutzer entweder zum Schluss kommt, das Primitiv sei korrekt rekonstruiert und deshalb zu akzeptieren, oder es sei zu löschen. Wenn ein Primitiv akzeptiert wird, wird es dem aktuellen Gebäude hinzugefügt. Bei dieser Gelegenheit werden die Randdarstellungen des aktuellen Gebäudes und jene des aktuellen Primitives nach der von MÄNTYLÄ (1988: 263) angegebenen Methode verschnitten, gegebenenfalls die Höhe des Bodens aus dem DGM bestimmt und die Darstellung des aktuellen Gebäudes in allen visualisierten Bildern nachgeführt. So besteht z. B. in Abb. 2 das aktuelle Gebäude aus zwei bereits verschnittenen Primitiven vom Typ „Satteldach“; ein drittes Primitiv des selben Typs für eine Gaube ist noch in Bearbeitung. Sobald der Benutzer entscheidet, dass kein weiteres Primitiv mehr dem Gebäude hinzuzufügen ist und das Gebäude daher vollständig rekonstruiert ist, kann das Gebäude akzeptiert

und an das TIS zur Verwaltung übergeben werden.

Durch diesen Arbeitsablauf wird auf mehrere Arten Arbeit im Vergleich zur konventionellen photogrammetrischen Auswertung gespart. Zunächst stellen die Gebäudeprimitive bereits konsistente 3D-Modelle mit vollständiger topologischer Information dar, die ansonsten erst in der interaktiven Nachbearbeitung definiert werden kann. Durch die Ausnützung von Symmetrien und Orthogonalitäten bei der Modellierung wird die Anzahl der vom Benutzer interaktiv zu identifizierenden Gebäudeecken erheblich verringert. Im Sinne von KRAUS (2000: 237) handelt es sich daher bei der vorgestellten Methode um ein System der topologiegestützten Erfassung von Gebäuden. Wenn die Feinmessung automatisch erfolgen kann, wird die Anzahl der notwendigen Benutzeraktionen weiter reduziert. Schließlich fallen bei der Kombination der Primitive durch Boolesche Operatoren die Schnittlinien der Primitive automatisch an, die bei der konventionellen Auswertung manuell gemessen werden müssten.

Der Detaillierungsgrad der Gebäudemodelle hängt einerseits von der Wahl der Gebäudeprimitive ab, weil bereits hier einem stärker generalisierenden Primitiv der Vorzug gegeben werden kann. Andererseits

können gewisse Einzelheiten (z. B. Dachgauben) noch durch zusätzliche Primitive modelliert werden. Prinzipiell kann ein sehr hoher Detaillierungsgrad erreicht werden, während andererseits die Verwendung der Primitive zu einer Homogenisierung der Gebäudemodelle (KRAUS 2000: 236) führt. Hinsichtlich der Genauigkeit kann man bessere Ergebnisse als bei der konventionellen Auswertung erwarten, weil zur automatischen Feinmessung Bildkanten und daher sehr viele Beobachtungen zur Bestimmung der Gebäudeparameter herangezogen werden.

2.2 Das mathematische Modell der hybriden Ausgleichung in ORIENT

Das Programm ORIENT wird am I.P.F. seit Mitte der 70er Jahre entwickelt und zeichnet sich durch die große Anzahl der Beobachtungstypen, die in einer hybriden Ausgleichung simultan verarbeitet werden können, aus. Außerdem bietet ORIENT mit der robusten Schätzung und „Data Snooping“ zwei Methoden zur Eliminierung grober Fehler an (KAGER 1989).

In ORIENT werden die Beobachtungen als Koordinaten von Punkten in 3D-Räumen betrachtet, denen je ein kartesisches Koordinatensystem, das *Beobachtungskordinatensystem*, zugeordnet ist. Jeder dieser 3D-Räume ist mit dem Objektkoordinatensystem durch eine Abbildungsfunktion verknüpft. Die Parameter dieser Abbildungsfunktionen werden aus den Beobachtungen durch Ausgleichung nach vermittelnden Beobachtungen geschätzt.

2.2.1 Die Abbildungsfunktionen

In ORIENT werden alle Beobachtungstypen einheitlich behandelt, indem zur Beschreibung des Zusammenhangs zwischen beobachtetem Punkt $\mathbf{p} = (u, v, w)^T$ und Objektpunkt $\mathbf{P} = (X, Y, Z)^T$ zunächst dieselbe Transformation verwendet wird:

$$\mathbf{M} \cdot [\mathbf{p} - \mathbf{p}_0(\mathbf{adp})] = \lambda \cdot \mathbf{R}^T(\Theta) \cdot (\mathbf{P} - \mathbf{P}_0) \quad (1)$$

In Gleichung (1) wird $\mathbf{p}_0 = (u_0, v_0, w_0)^T$ als *innerer Referenzpunkt* bezeichnet. Er kann durch Funktionen der zusätzlichen Parame-

ter *adp* modifiziert werden. \mathbf{R} ist eine Rotationsmatrix in Abhängigkeit der Drehwinkel Θ , wobei Θ auf mehrere Arten parametrisiert werden kann, z. B. $\Theta = (\omega, \varphi, \kappa)^T$. λ bezeichnet den Maßstabsfaktor zwischen den beiden Systemen. $\mathbf{P}_0 = (X_0, Y_0, Z_0)^T$ heißt *äußerer Referenzpunkt*, und $\mathbf{M} = \text{diag}(m_u, m_v, m_w)$ bezeichnet eine Spiegelungsmatrix mit den Spiegelungskoeffizienten $m_i = \pm 1$, $i \in \{u, v, w\}$. Mit Ausnahme von \mathbf{M} können alle Gruppen von Parametern durch Ausgleichung bestimmt werden. Aus Gleichung (1) werden die Abbildungsgleichungen aller Beobachtungstypen abgeleitet, wobei einzelne Parametergruppen verschiedene Interpretationen erhalten können.

Bildkoordinaten

Für in zentralperspektivischen Bildern gemessene Punkte entspricht das Beobachtungskordinatensystem dem Kamerakordinatensystem. Es gilt für alle Punkte: $w = 0$. \mathbf{P}_0 ist das Projektionszentrum. \mathbf{p}_0 liegt um die Kamerakonstante c vor dem Hauptpunkt, d. h. $\mathbf{p}_0 = (u_0, v_0, c)^T$. Die zusätzlichen Parameter *adp* sind die Koeffizienten von Verzeichnungs-polynomen. λ bleibt nicht für alle Punkte konstant, sondern beschreibt die Position des Objektpunktes \mathbf{P} auf dem Projektionsstrahl. Unter diesen Annahmen erhält man durch Division der ersten beiden Zeilen von Gleichung (1) durch die dritte und einige Umformungen die Gleichungen der Zentralprojektion in ihrer üblichen Form (KAGER 1989).

GESTALT-Beobachtungen

GESTALT-Beobachtungen sind fiktive Beobachtungen der Art, daß ein Punkt \mathbf{P} im Objektraum auf einer Fläche liege. Diese Flächen werden ebenfalls in einem lokalen Koordinatensystem modelliert, das mit dem Objektkoordinatensystem über Gleichung (1) zusammenhängt. Der Maßstab wird konstant mit $\lambda = 1$ angenommen. Um \mathbf{P} als auf der Fläche liegend zu modellieren, kann der Abstand zwischen \mathbf{P} und der Fläche fiktiv mit dem Wert 0 „beobachtet“ werden. In ORIENT wird an Stelle des Normalabstandes die größte Komponente des Diffe-

renzvektors verwendet. \mathbf{p}_0 erhält eine besondere Interpretation: seine Komponenten werden als Polynome in Abhängigkeit von zwei Komponenten von $\mathbf{p}_R = (u_R, v_R, w_R)^T = \mathbf{R}^T \cdot (\mathbf{P} - \mathbf{P}_0)$ angenommen, durch die je eine Fläche im Beobachtungskoordinatensystem modelliert wird. Es gibt daher drei Möglichkeiten für die Formulierung der Abbildungsgleichungen:

$$0 = m_u \cdot u_R + \sum_{j,k=0}^{n,n} a_{jk} \cdot (m_v \cdot v_R)^j \cdot (m_w \cdot w_R)^k$$

$$0 = m_v \cdot v_R + \sum_{i,k=0}^{n,n} b_{ik} \cdot (m_u \cdot u_R)^i \cdot (m_w \cdot w_R)^k \quad (2)$$

$$0 = m_w \cdot w_R + \sum_{i,j=0}^{n,n} c_{ij} \cdot (m_u \cdot u_R)^i \cdot (m_v \cdot v_R)^j$$

Dabei werden die zusätzlichen Parameter \mathbf{adp} aus Gleichung (1) durch die GESTALT-Koeffizienten a_{jk} , b_{ik} und c_{ij} ersetzt, die die Form der Fläche im Beobachtungskoordinatensystem beschreiben. Innerhalb einer Applikation kann für eine GESTALT, also die eine bestimmte Menge von Punkten enthaltende Fläche, eine beliebige Auswahl einer Teilmenge aller möglichen Koeffizienten getroffen werden. Da die Zuordnung von Parametern der Abbildungsfunktion zu den GESTALTen per Referenz erfolgt, können mehrere GESTALTen mit unterschiedlichen Koeffizienten sich auf das selbe bzw. mehrere GESTALTen mit identischen Koeffizienten auf verschiedene Beobachtungskoordinatensysteme beziehen. Auf diese Art und durch geeignete Wahl der Elemente von \mathbf{M} können sehr leicht implizit geometrische Bedingungen zwischen Flächen modelliert werden. 3D-Kurven können als Schnitt zweier Flächen bestimmt werden, indem für alle Punkte der Kurve zwei der Beobachtungen entsprechend zwei Gleichungen (2) eingeführt werden (KAGER 1989).

Beobachtete Parameter

Für alle Gruppen von Parametern in Gleichung (1) können Beobachtungen („Parameterbeobachtungen“) eingeführt werden.

So werden z. B. die Koordinaten von Passpunkten als „beobachtete Objektkoordinaten“ behandelt. In diesem Fall degeneriert Gleichung (1) zu $\mathbf{p} = \mathbf{P}$. Solche Beobachtungsgleichungen können für alle Parameter eingeführt werden, es gibt also z. B. beobachtete Drehwinkel, usw.

2.2.2 Hybride Ausgleichung

Alle Beobachtungen werden simultan nach der Methode der kleinsten Quadrate ausgeglichen, wobei das mathematische Modell der Ausgleichung sich aus den Spezialisierungen der Abbildungsfunktion ergibt, indem die stochastischen Eigenschaften der Beobachtungen \mathbf{p} berücksichtigt werden. Es wird also in den Abbildungsgleichungen \mathbf{p} durch die Erwartung $\mathbf{E}(\mathbf{p}) = \mathbf{p} + \mathbf{r}$ substituiert, um die (nichtlinearen) Verbesserungsgleichungen zu erhalten. Dabei ist \mathbf{r} der Vektor der Verbesserungen von \mathbf{p} .

Das stochastische Modell der Ausgleichung ist in ORIENT durch die Annahme gegeben, dass die Beobachtungen unkorreliert und normalverteilt sind. Mit dem mittleren Gewichtseinheitsfehler a priori s_0 und dem mittleren Fehler s_i ergibt sich das Gewicht W_i der Beobachtung i zu $W_i = s_0^2/s_i^2$.

Welche Parameter in der Ausgleichung als Unbekannte bestimmt und welche als konstant angesehen werden, kann in ORIENT vom Benutzer vorgegeben werden. Es ist allerdings darauf zu achten, daß diese Parameter bestimmbar sein müssen. So gibt es etwa für GESTALTen eine funktionale Abhängigkeit zwischen den linearen Polynomkoeffizienten und den Drehwinkeln sowie zwischen den konstanten Koeffizienten und \mathbf{P}_0 in den Gleichungen (2).

Grobe Fehler in den Beobachtungen können in ORIENT durch robuste Schätzung eliminiert werden. Zu diesem Zweck wird nach Beendigung der Ausgleichung die Iteration erneut aufgenommen, wobei die Gewichte der Beobachtungen in Abhängigkeit ihrer normalisierten Residuen aus dem jeweils vorigen Iterationsschritt moduliert werden (KAGER 1989). Voraussetzung für dieses Verfahren sind eine hohe Redundanz und eine Anzahl von groben Fehlern, die

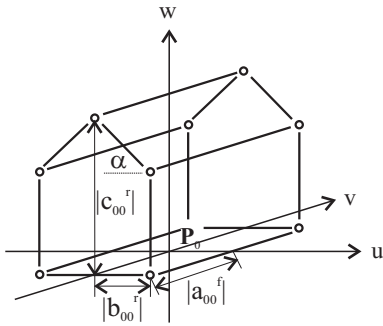


Abb. 3: Parametrisierung eines Gebäudes mit Satteldach.

30% der Beobachtungen nicht überschreitet.

2.3 Modellierung der Gebäudeprimitive im Rekonstruktionsprozess

Die Modellierung der Gebäudeprimitive erfolgt durch Randdarstellung. Da die Parameterschätzung im Rekonstruktionsprozess eine zentrale Rolle spielt, sollen die durch die Modellierung der Primitive vorgegebenen topologischen und geometrischen Bedingungen in die Ausgleichung einfließen. Dies erfolgt durch ein System von GESTALTen, das bei der Initialisierung eines Gebäudeprimitives angelegt wird. Jeder Fläche der Randdarstellung entspricht eine GESTALT, die durch eine der Gleichungen (2) modelliert wird, wobei in der gegenwärtigen Version zur Modellierung nur Ebenen verwendet werden können. Alle diese GESTALTen werden im selben Beobachtungs-koordinatensystem formuliert, d. h. es gibt für alle GESTALTen nur einen äußeren Referenzpunkt P_0 , und einen Satz von Drehwinkeln Θ . Die Parametrisierung der Ebenen bezieht sich ebenfalls auf dieses Koordinatensystem, wobei durch geeignete Wahl der Spiegelungsmatrix M Symmetrien modelliert werden können. Die Form der Gebäudeprimitive wird durch die gewählten Polynomkoeffizienten a_{jk} , b_{ik} und c_{ij} beschrieben. Für alle Punkte, die einer Fläche der Randdarstellung zugeordnet werden, wird eine Beobachtung in die entsprechende

GESTALT eingeführt. Dies gilt auch für alle Gebäudeecken der Randdarstellung, sodass von vornherein für jede dieser Gebäudeecken mindestens drei GESTALT-Beobachtungen vorliegen, die in der Ausgleichung die Ebenen verknüpfen und somit die Topologie der Randdarstellung repräsentieren.

Abb. 3 zeigt als Beispiel die Parametrisierung eines einfachen Primitives. P_0 liegt im Zentrum auf dem Boden. Die w -Achse des Koordinatensystems steht auch im Objektraum vertikal, es gilt $\omega = \varphi = 0$. Das Primitiv besteht aus sieben Ebenen:

1. Boden: $w_0 = 0$.
2. Vorderwand: $v_0 = a_{00}^f$
3. Rückwand: $v_0 = a_{00}^f; m_v = -1$: symmetrisch zu 2. bezüglich der uw -Ebene.
4. Rechte Wand: $u_0 = b_{00}^f$
5. Linke Wand: $u_0 = b_{00}^f; m_u = -1$: symmetrisch zu 4. bezüglich der vw -Ebene.
6. Rechte Dachebene: $w_0 = c_{00}^f + c_{10}^f \cdot u_R$
7. Linke Dachebene: $w_0 = c_{00}^f + c_{10}^f \cdot u_R; m_u = -1$: symmetrisch zu 6. bezüglich der vw -Ebene.

Es sind folgende Parameter zu bestimmen:

- P_0 und κ , die die Position und Orientierung des Primitives im Objektraum beschreiben
- die Koeffizienten $a_{00}^f, b_{00}^f, c_{00}^f$ und c_{10}^f , die die Form des Primitives beschreiben
- die Objektkoordinaten der Gebäudeecken.

Die Objektkoordinaten der Gebäudeecken sind immer aus ihren GESTALT-Beobachtungen bestimmbar. Die verbleibenden Parameter müssen aus anderen Beobachtungen, z. B. aus Bildkoordinaten, bestimmt werden. Solange solche Beobachtungen nicht vorliegen, werden für diese Parameter „Parameterbeobachtungen“ eingeführt.

Obwohl die Modellierung der Gebäudeprimitive durch Randdarstellung erfolgt, ist zur Beschreibung ihrer Form und Position nur eine minimale Anzahl von Parametern nötig. Die Datenbank der Gebäudeprimitive kann auf einfache Weise erweitert werden. Es muss dem System die Beschreibung der Randdarstellung des neuen Primitives

sowie die Abbildung der das Primitiv beschreibenden Parameter in das oben beschriebene System der GESTALT-Parametrisierung bekannt gegeben werden. Dies geschieht in der gegenwärtigen Version durch Modifikation einer ASCII-Datei. Im Augenblick stehen ca. 15 Primitive zur Verfügung.

Dieses Prinzip der Abbildung der Modellierung durch Randdarstellung auf GESTALT-Beobachtungen wird gegenwärtig im vorgestellten System auch zur Modellierung von prismatischen Gebäuden mit horizontalem Dach und Boden sowie n vertikalen Wänden verwendet. Allerdings musste dafür eine Konstruktionsvorschrift ausprogrammiert werden, während die Erweiterung der Datenbank der parametrischen Primitive ohne Programmieraufwand erfolgen kann.

2.4 Interaktive Bearbeitung der Gebäudeprimitive

Nach der Initialisierung eines Primitives, bei der das eben beschriebene System von GESTALTen angelegt und mit Startwerten versehen wird, erfolgt die interaktive Bearbeitung durch Identifizieren der Gebäudeecken

in den digitalen Bildern. Für jede vom Benutzer in den Bildern identifizierte Gebäudeecke werden zwei Bildkoordinaten-Beobachtungen generiert, die zur Bestimmung der noch unbestimmten Gebäudeparameter herangezogen werden. Es erfolgt nach jeder Benutzerinteraktion eine Ausgleichung mit ORIENT, in die neben den durch die Modellierung vorgegebenen GESTALT- und Parameterbeobachtungen die vom Benutzer gemessenen Bildkoordinaten einfließen. Dabei wird das Problem, zu erkennen, welche Parameter durch die neu hinzugekommenen Beobachtungen bestimmbar sind, mit Hilfe der robusten Schätzung gelöst. Die Strategie der Modulation der Gewichte wird nur auf die „Parameterbeobachtungen“ angewandt. Da nur Beobachtungen, die einander widersprechen, große normalisierte Residuen erhalten, werden bei dieser robusten Schätzung genau die Beobachtungen für jene Parameter eliminiert, die durch die neu hinzugekommenen Bildkoordinaten bestimmbar werden. Nach der Ausgleichung werden die „Parameterbeobachtungen“ den aktuellen Werten angeglichen, und die Darstellung der Drahtmodelle in den Bildern wird angepasst. Diese Prozedur wird so lange wiederholt, bis auf Grund einer visuellen

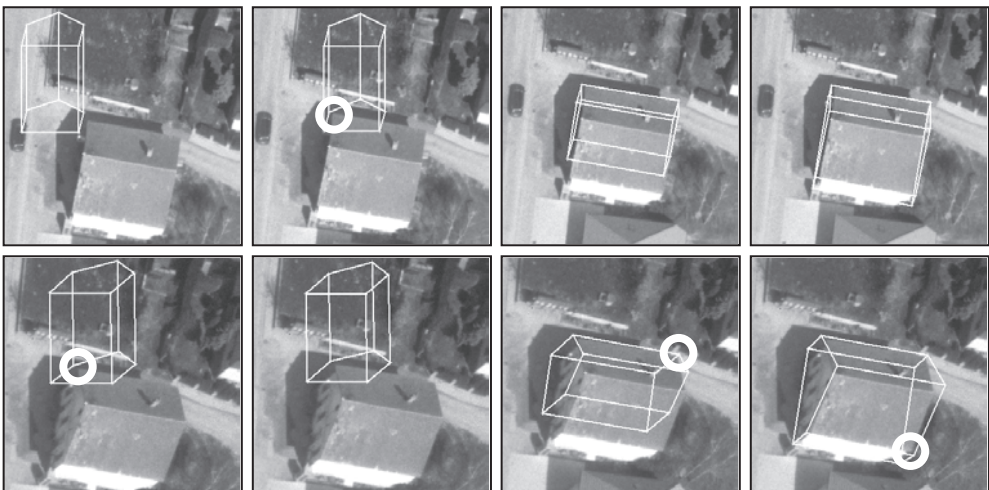


Abb. 4: Näherungsweise Bestimmung der Parameter eines Satteldaches. Oben: rechtes Bild, unten: linkes Bild. Die Kreise zeigen die vom Benutzer identifizierten Ecken an. Die Zeitachse verläuft von links nach rechts.

Beurteilung entschieden wird, dass die Drahtmodelle gut genug zum Bildinhalt passen. Dabei hat man die Wahl, die Gebäudeecken in den Bildern näherungsweise zu positionieren, um Startwerte für die automatische Feinmessung zu erhalten, oder sie exakt zu messen.

Abb. 4 zeigt ein Beispiel für die interaktive Bearbeitung eines Gebäudeprimitives. Oben ist das rechte, unten das linke Bild dargestellt. Die Zeitachse verläuft von links nach rechts. Zunächst wird ein Traufenpunkt im linken Bild gemessen (linke Spalte). Dadurch kann die Lage von P_0 bestimmt werden, nicht jedoch die Höhe. Durch Digitalisieren desselben Traufenpunktes im zweiten Bild (zweite Spalte in Abb. 4) kann P_0 vollständig bestimmt werden. Danach wird ein zweiter Traufenpunkt in einem Bild gemessen, wodurch zwei weitere Parameter bestimmbar werden: κ und a_{00}^f (dritte Spalte in Abb. 4). Nach Identifizierung eines dritten Punktes in einem Bild kann auch b_{00}^r bestimmt werden (rechte Spalte in Abb. 4), und das Primitiv ist gut genug in den Bildern positioniert, damit eine automatische Feinmessung erfolgen kann. Diese Methode arbeitet unabhängig von der Reihenfolge, in der die Gebäudeecken identifiziert werden, und sie ist auch unabhängig von der Anzahl der identifizierten Ecken. Der visuelle Eindruck alleine ist entscheidend für die Beendigung der interaktiven Bearbeitung.

Da Gebäudeecken manchmal verdeckt sind, sollte es möglich sein, auch Punkte entlang von Gebäudekanten in den Bildern digitalisieren zu können. Dies kann mit Hilfe der vorgestellten Methode problemlos bewerkstelligt werden.

2.5 Automatische Feinmessung der Gebäudeprimitive

Das Verfahren zur automatischen Feinmessung stellt eine Anwendung des von ROTTENSTEINER (1998) vorgestellten allgemeinen Konzeptes zur automatischen Oberflächenrekonstruktion dar. Ausgehend von den digitalen Bildern, deren Orientierungsparametern und den vom Benutzer vorgegebenen groben Näherungen für die Gebäudepa-

rameter erfolgt die Rekonstruktion hierarchisch durch Anwendung merkmalsbasierter Bildzuordnungsverfahren. Um dem Problem der in den Bildern auftretenden Verdeckungen zu begegnen, ist es nützlich, zu diesem Zweck mehr als zwei Bilder zu verwenden. Beginnend in einem vom Benutzer vordefinierten Bildpyramidenniveau N werden in jedem Pyramidenniveau zunächst mit Hilfe der polymorphen Merkmalsextraktion (FUCHS 1998) Bildpunkte und -kanten extrahiert. In der Folge werden nur noch die Bildkanten verwendet, die in einem modellgetriebenen Prozess den Dachkanten der Randdarstellung zugeordnet werden. Diese Zuordnung erfolgt in einem zweistufigen Verfahren, in dem zuerst Zuordnungshypothesen erzeugt und anschließend hinsichtlich ihrer Konsistenz mit einem Objektmodell evaluiert werden, um falsche Hypothesen zu eliminieren (GÜLCH 1994). Als Ergebnis erhält man eine der Auflösung des jeweiligen Pyramidenniveaus entsprechende Objektrepräsentation, die als Näherung für den Zuordnungsprozess in der nächsthöheren Auflösung dient. Der Prozess ist abgeschlossen, sobald die Zuordnung in den Bildern mit der höchsten Auflösung erfolgt ist. Durch diese iterative Vorgangsweise wird der Konvergenzradius der Zuordnung erhöht.

Die Erzeugung der Zuordnungshypothesen erfolgt unabhängig für alle Dachkanten der Gebäudeprimitive in allen Bildern. Die genäherte Lage der Dachkante in einem Bild sei e^o (Abb. 5). In den Bildern werden die extrahierten Bildkanten l durch Polygone

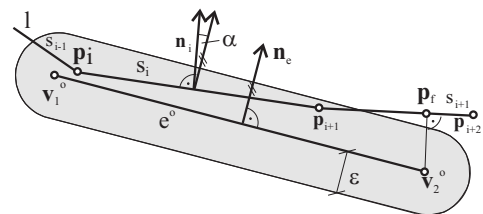


Abb. 5: Erzeugung von Zuordnungshypothesen für eine Objektkante in einem Bild. e^o : genäherte Lage der Kante im Bild. l : eine durch ein Polygon approximierte Bildkante.

approximiert. Ein Segment s_i von l wird dann der Objektkante zugeordnet, wenn mindestens einer seiner Endpunkte innerhalb eines durch eine vom Benutzer vorgegebene Schranke ε im Bild definierten Suchbereiches liegt und der Winkel α zwischen s_i und e° kleiner als ein weiterer Schwellwert α_0 ist. Falls die Projektion eines Endpunktes auf e° außerhalb von e° liegt, wird dieser Endpunkt durch den Fußpunkt p_f des Kantenendpunktes ersetzt. Für jeden Endpunkt eines so als Kandidaten für die Zuordnung zu einer Objektkante gefundenen Segments werden vier Beobachtungen, nämlich je zwei Bildkoordinaten und zwei GESTALT-Beobachtungen (eine für jede der Kante im Objektraum benachbarten Fläche), erzeugt, denen drei unbekannte Objektkoordinaten gegenüberstehen. Das stochastische Modell der Bildkoordinaten ergibt sich aus den mittleren Fehlern der Polygonapproximation durch Fehlerfortpflanzung. Der mittlere Fehler eines Endpunktes normal zum Segment ist dabei umgekehrt proportional der Quadratwurzel seiner Länge, jener in Richtung des Segments kann gleich dem Digitalisierungsintervall angenommen werden (FUCHS 1998). Dadurch erhalten lange Segmente einen größeren Einfluss auf das Ergebnis als kurze.

Die Evaluierung der Zuordnungshypothesen erfolgt durch eine gemeinsame Ausgleichung aller dieser Beobachtungen für alle Kanten, wobei die Rolle des Objektmodelles durch das in Abschnitt 2.3 beschriebene System von GESTALT-Beobachtungen wahrgenommen wird. Die Eliminierung falscher Hypothesen erfolgt durch robuste Schätzung, wobei das Prinzip der Gewichtsmodulation nur auf die Bildkoordinaten angewandt wird. Die Ausgleichung ist stark überbestimmt. Auf Grund der hierarchischen Strategie kann in jedem Bildpyramidenniveau der Suchbereich relativ klein gehalten werden, was die Zahl der falschen Zuordnungen von vornherein verringert, sodass die Voraussetzungen für den Erfolg der robusten Schätzung gegeben sind.

Ein wichtiger Parameter der automatischen Feinmessung ist der mittlere Fehler a priori s_g einer GESTALT-Beobachtung. Er

beschreibt die „Rigidität“ des Objektmodells im Zuordnungsprozess. Wird s_g zu klein gewählt, werden zu viele, andernfalls zu wenige Zuordnungen eliminiert.

2.6 Verwaltung der Gebäudemodelle in einem TIS

Die Rolle des TIS wird im hier beschriebenen System von dem am I.P.F. entwickelten und auf einer relationalen Datenbank mit zusätzlichen geometrischen Elementen beruhenden Programm SCOP.TDM übernommen (HOCHSTÖGER 1996). Zur Verwaltung der Gebäudedaten wurde ein „objekt-rationales“ Prinzip verwendet (KRAUS 2000: S. 54), das es ermöglicht, die vorhandene relationale Datenbank zu nutzen und doch eine objektorientierte Sicht auf diese Datenbank für Applikationsprogramme, z. B. für Visualisierungen, zur Verfügung zu stellen.

In SCOP.TDM werden im „Produktmarkt“ DGMs in einer Tabelle der relationalen Datenbank so verwaltet, dass jede Zeile dieser Tabelle einem auf eine binäre Datei ausgelagerten Geländemodell entspricht. Die Spalten dieser Tabelle enthalten nur die Metadaten, z. B. Objekttyp, Dateiformat, Dateiname und Ausdehnung. Letzteres Attribut beschreibt einen das DGM zur Gänze umschließenden achsparallelen Quader und dient vor allem zu Abfragen nach geometrischen Kriterien. Dieses Prinzip, bei dem die eigentlichen Daten als auf Datei ausgelagerte „binäre große Objekte“ („Binary Large Objects, BLOBs) behandelt werden, während die Metadaten in der relationalen

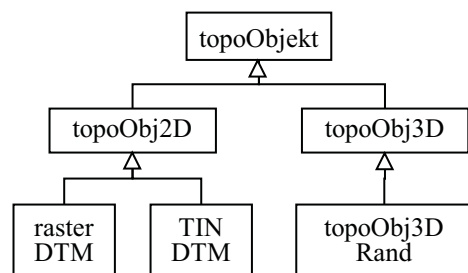


Abb. 6: Vererbungshierarchie für topographische Objekte.

Datenbank verwaltet werden, hat sich für die landesweite Verwaltung von Höhendaten bewährt (HOCHSTRÖGER 1996). Außerdem kann es auf sehr einfache Weise auf Gebäudedaten angewendet werden, indem neue Werte für die Attribute „Objekttyp“ und „Dateiformat“ zugelassen werden. Nur die Randdarstellung der Gebäude ist auf eine externe binäre Datei in einem spezifischen Format ausgelagert.

Es wurde eine objektorientierte Schnittstelle für Applikationen dieses Teils der relationalen Datenbank entwickelt. Dazu wurde eine Vererbungshierarchie für topographische Objekte geschaffen (Abb. 6). Die Basisklasse *topoObjekt* entspricht einem topographischen Objekt und enthält die oben beschriebenen Metadaten. Die eigentliche Art der geometrischen Modellierung ist noch nicht festgelegt und erst für abgeleitete Klassen realisiert. In einer ersten Stufe werden von dieser Klasse zwei Klassen für die 2.5D- bzw. 3D-Modellierung abgeleitet. Erst die davon abgeleiteten Klassen entsprechen realen Daten in einer bestimmten Modellierungstechnik, einerseits für Geländemodelle in 2.5D-Rasterdarstellung bzw. als Triangulierung, und andererseits für 3D-Objekte in Randdarstellung. Um die objektorientierte Sicht auf die topographischen Daten zu erhalten, ist eine Schnittstelle nötig, die an SCOP.TDM Abfragen bezüglich des „Produktmarktes“ richtet, aus dem Ergebnis das Attribut „Objekttyp“ interpretiert und das dem Wert dieses Attributes entsprechende Objekt instantiiert. Diese Objekte verfügen dann über die entsprechenden Methoden, um ihre Daten aus den dem Wert des Attributs „Dateiname“ entsprechenden Dateien zu initialisieren. Die Applikation bekommt also als Resultat einer Abfrage eine Liste von Instanzen der Klasse *topoObjekt* und kann über die Schnittstelle dieser Klasse deren Methoden, z. B. für Visualisierungen, nutzen.

3 Ergebnisse

Zur Evaluierung des neuen Verfahrens wurde ein Testprojekt in Stoitzendorf (Niederösterreich) durchgeführt. Dafür wurde

ein kleiner Luftbildblock ($M = 1 : 4500$, $c_k = 15 \text{ cm}$) mit zwei Streifen mit 70% Längs- und 50% Querüberdeckung verwendet. Im Bereich des Ortskerns waren alle Gebäude in sechs Bildern sichtbar. Die Bilder wurden mit $15 \mu\text{m}$ an einem photogrammetrischen Scanner digitalisiert (schwarzweiß). Zur Bestimmung der Höhen der Gebäudeböden wurde ein DGM durch Stereoauswertung in einem analytischen Auswertegerät bestimmt.

Zunächst wurde die Genauigkeit des Verfahrens zur automatischen Feinmessung untersucht. Zu diesem Zweck wurden fünf Gebäudeprimitive, drei Satteldächer und zwei Krüppelwalmdächer, in verschiedenen Ausrichtungen relativ zur Flugrichtung, ausgewählt und sowohl automatisch als auch manuell durch Messung aller Dachecken in sechs Bildern ausgewertet. Es konnten so mittlere Fehler σ_Δ der Differenzen der Parameter der Primitive berechnet werden. Sie betragen für die einzelnen Kategorien von Parametern:

- Position (X_0, Y_0) des Primitivs:
 $\sigma_\Delta = \pm 3.1 \text{ cm}$
- Orientierung κ : $\sigma_\Delta = \pm 85 \text{ mgon}$, das entspricht $\pm 1.3 \text{ cm}$ auf 10 m .
- Gebäudedimensionen a_{00}^f, b_{00}^l :
 $\sigma_\Delta = \pm 2.9 \text{ cm}$.
- Firsthöhe c_{00}^r : $\sigma_\Delta = \pm 2.8 \text{ cm}$.
- Dachneigung c_{10}^l : $\sigma_\Delta = \pm 1.1 \%$.

Diese Ergebnisse zeigen das hohe Genauigkeitspotential der Methode, das durch die große Anzahl an Beobachtungen für ein einzelnes Primitiv (ca. 2500) begründet ist. Allerdings sind noch weitere Untersuchungen mit einer größeren Anzahl von Gebäuden nötig, um zu einer endgültigen Beurteilung zu kommen.

Es wurde auch die Konvergenzfähigkeit der automatischen Feinmessung in Abhängigkeit von den wichtigsten Steuerparametern und der Qualität der Näherungswerte mit Hilfe derselben fünf Gebäude untersucht (ROTTENSTEINER 2001). Es können folgende Aussagen getroffen werden:

- Das Verfahren konvergiert bei Abweichungen der Näherungen von bis zur halben Gebäudeausdehnung.

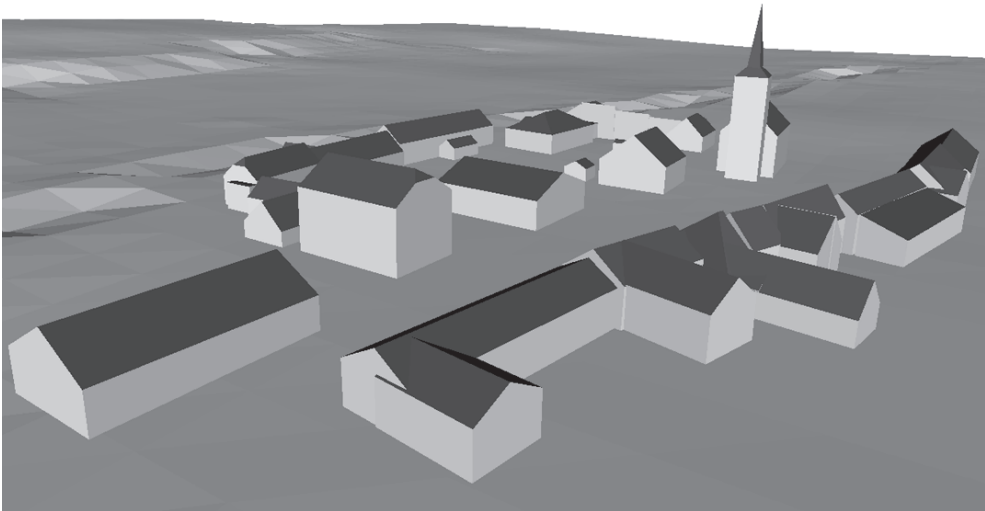


Abb. 7: VRML-Visualisierung der ausgewerteten Gebäude mit DGM.

- Diese Werte werden aber nur unter Verwendung der hierarchischen Strategie erreicht, weil in den Bildern mit grober Auflösung nur die wesentlichen Kanten des Objekts extrahiert werden und somit bei gleicher Größe des Interessensgebietes weniger Fehlzuordnungen auftreten.
- Schon für $s_g = \pm 10$ cm können falsche Ergebnisse auftreten, weil falsche Zuordnungen nicht mehr eliminiert werden. Im Testprojekt hat sich die Wahl von $s_g = \pm 2$ cm bewährt.

Um die allgemeine Anwendbarkeit des Verfahrens zu testen, wurde der Ortskern von Stoitzendorf zur Gänze ausgewertet. Abb. 7 zeigt eine VRML-Visualisierung des erfassten Bereichs. Er besteht aus 18 Gebäudeblöcken mit insgesamt 48 Primitiven. Es traten 8 verschiedene Typen von Primitiven auf. Als kritisch für den Erfolg der automatischen Feinmessung haben sich vor allem Schlagschatten und fehlender Kontrast herausgestellt. Generell war die monoskopische Interpretation der Bilder für die Wahl eines Gebäudeprimitives in manchen Fällen kritisch. Hier hätte wohl die Verwendung von Farbbildern bzw. eine stereoskopische Betrachtung eine deutliche Verbesserung ge-

bracht. Trotzdem kann das Ergebnis der Rekonstruktion einer doch relativ komplexen Szene mit sehr verschachtelten Gebäudeformen als sehr ermutigend betrachtet werden.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde ein neues Verfahren zur halbautomatischen Gebäudeextraktion entwickelt und in einem Pilotprojekt getestet. Die Ergebnisse des Tests sind sehr ermutigend und zeigen insbesondere das hohe Genauigkeitspotential der neuen Methode, aber auch einige Möglichkeiten zu deren Verbesserung, etwa durch eine Funktion zum Messen von Punkten an Gebäudekanten anstelle von Gebäudeecken. Auch sind umfangreichere Tests zur Evaluierung der Methode erforderlich, um die Genauigkeitsangaben durch eine größere Anzahl von Vergleichsmessungen zu untermauern und um die Anwendbarkeit in Projekten mit anderer Bildanordnung zu überprüfen. Das dem Verfahren zugrunde liegende Prinzip der Integration von Objektmodellierung und Parameterschätzung ist aber in keiner Weise auf die Anwendung im Kontext der halbautomatischen Gebäudeextraktion beschränkt. Es kann auch auf eine generische Modellierung

durch Polyeder verallgemeinert werden und somit in Zukunft die Grundlage für eine Feineinpassung von Gebäudemodellen in einer datengetriebenen Gebäudeextraktion analog zu AMERI (2000) sein.

Dank

Diese Arbeit wurde vom Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung und der Österreichischen Nationalbank im Rahmen des Forschungsschwerpunktes S7004-MAT unterstützt.

Literatur

- AMERI, B., 2000: Feature Based Model Verification (FBMV): A new Concept for Hypothesis Validation in Building Reconstruction. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, **33** (B3): 24–35.
- BRENNER, C., 2000: Towards fully automatic Generation of City Models. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, **33** (B3): 85–92.
- FUCHS, C., 1998: Extraktion polymorpher Bildstrukturen und ihre topologische und geometrische Gruppierung. – Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, DGK-C **502**, München.
- GRÜN, A. & WANG, X., 1998: CC-Modeler: A Topology Generator for 3-D City Models. – ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, **53** (5): 286–295.
- GÜLCH, E., 1994: Erzeugung digitaler Geländemodelle durch automatische Bildzuordnung. – Dissertation, Universität Stuttgart, DGK-C **418**, München.
- GÜLCH, E., MÜLLER, H., LÄBE, TH. & RAGIA, L., 1998: On the Performance of Semi-automatic Building Extraction. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, **32** (3/1): 331–338.
- HOCHSTÖGER, F., 1996: Software for Managing Country-Wide Digital Elevation Data. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing **31**, (B2): 160–163.
- KRAUS, K., 2000: Photogrammetrie Band 3. Topographische Informationssysteme. – 417 S., Dümmler Verlag, Köln.
- KAGER, H., 1989: ORIENT: A Universal Photogrammetric Adjustment System. – In: GRÜN, A. & KAHMEN, H. (Hrsg.): Optical 3-D Measurement. – Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe: 447–455.
- LANG, F., 1999: Geometrische und semantische Rekonstruktion von Gebäuden durch Ableitung von Gebäudeecken. – Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, ISBN 3-8265-6619-X
- MÄNTYLÄ, M., 1988: An Introduction to Solid Modeling. – 401 S., Computer Science Press, Rockville, Maryland, USA.
- ROTTENSTEINER, F., 1998: Object Reconstruction in a Bundle Block Environment. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, **32** (3/1): 177–183.
- ROTTENSTEINER, F., 2001: Semi-automatic extraction of buildings based on hybrid adjustment using 3D surface models and management of building data in a TIS. – Dissertation, Geowissenschaftliche Mitteilungen **56**, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, TU Wien, ISBN 3-9500791-3-0.
- VAN DEN HEUVEL, F.A., 2000: Trends in CAD-based Photogrammetric Measurement. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, **33** (B5): 852–863.
- WEIDNER, U., 1997: Gebäudeerfassung aus digitalen Oberflächenmodellen. – Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, DGK-C **474**, München.

Anschrift des Verfassers:

Dipl.-Ing. Dr. FRANZ ROTTENSTEINER
 Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, TU Wien
 Gußhausstraße 27–29
 A-1040 Wien
 Tel.: +43 1 58801 12217
 Fax.: +43 1 58801 12299
 e-mail: fr@ipf.tuwien.ac.at

Manuskript eingegangen: Mai 2001

Angenommen: Mai 2001

Persönliches

Festkolloquium anlässlich der Verabschiedung von Prof. Dr.-Ing. JÖRG ALBERTZ als Hochschullehrer

Das Institut für Geodäsie und Geoinformationstechnik der Technischen Universität Berlin veranstaltete am 6. April 2001 ein Festkolloquium zu Ehren des im Alter von 65 Jahren aus dem aktiven Dienst als Hochschullehrer ausscheidenden Prof. Dr.-Ing. JÖRG ALBERTZ. Mehr als 150 Gäste aus nah und fern waren gekommen, um an dieser feierlichen Würdigung des Jubilars teilzunehmen.



Professor ALBERTZ während seiner letzten Vorlesung an der TU Berlin im Rahmen des Geodätischen Kolloquiums am 22. Februar 2001

Zur *Begrüßung* sprach der Dekan der Fakultät VI, Bauingenieurwesen und Angewandte Geowissenschaften, Prof. Dr. HANS BURKHARDT. Er würdigte zugleich die Leistungen von Prof. ALBERTZ an der Technischen Universität Berlin als akademischer Lehrer und als Wissenschaftler sowie in der akademischen Selbstverwaltung. Daran schlossen sich *Grüßworte* der wissenschaftlichen Fachgesellschaften an.

Grüße der *Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung* (DGPF) überbrachte deren Präsident, Dr. KLAUS-ULRICH KOMP, Münster. Prof. ALBERTZ war für die Gesellschaft über mehrere Jahrzehnte in verschiedenen Funktionen tätig gewesen, u.a. als Arbeitskreisleiter und – gemeinsam mit Prof. HOFMANN – als Schriftleiter der Fachzeitschrift. Von 1996 bis 2000 war er Präsident der DGPF. In seine Amtszeit fiel u.a. die durch den Verlagswechsel veranlasste Neugestaltung der Zeitschrift als „Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation“ (PFG) und das im Heft 5/1999 der PFG gewürdigte 90-jährige Jubiläum der Gesellschaft.

Im Namen der *Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung* (ISPRS) sprach Prof. Dr.-Ing. ORHAN ALTAN, Istanbul, der dem ISPRS-Vorstand als Kongressdirektor angehört. Er überbrachte eine Grußadresse des ISPRS-Präsidenten, Prof. JOHN C. TRINDER, Sidney.

Den folgenden *Festvortrag* mit dem Titel: Stand und Perspektiven der Digitalen Photogrammetrie hielt Prof. Dr.-Ing. CHRISTIAN HEIPKE, Hannover. Er gab dabei – ganz im Sinne des Jubilars – einen Ausblick auf die zu erwartende weitere Entwicklung des Fachs, die u. a. durch den Übergang zur Digitalen Luftbildaufnahme geprägt sein wird.

Unter dem Titel „Der Beitrag von JÖRG ALBERTZ zur Entwicklung von Photogrammetrie, Fernerkundung und Kartographie“ hielt Prof. Dr.-Ing. KARL KRAUS, Wien, die sehr persönlich gehaltene *Laudatio*, die hier anschließend veröffentlicht wird.

JÖRG ALBERTZ bedankte sich danach für die Ehrung und zog mit seiner Betrachtung *Rückblick und Ausblick* ein kurzes eigenes Resümee seiner beruflichen Tätigkeit.

Den Abschluss dieser sehr feierlichen und eindrucksvollen Veranstaltung bildete die *Verabschiedung* des Jubilars als Hochschullehrer durch den Präsidenten der Technischen Universität Berlin, Prof. Dr. HANS-JÜRGEN EWERS. Dabei wurde ausdrücklich

betont, dass der Jubilar zwar seine Tätigkeit als Hochschullehrer an der TU Berlin beendet, seine Forschungsarbeiten aber weiterführen wird.

Im Anschluss an das Festkolloquium fand ein *Empfang* im Großen Senatssitzungssaal der Technischen Universität Berlin statt.

Der Beitrag von JÖRG ALBERTZ zur Entwicklung von Photogrammetrie, Fernerkundung und Kartographie¹

KARL KRAUS, Wien

Verehrte Festgäste,

in der heutigen Veranstaltung steht Prof. JÖRG ALBERTZ im Mittelpunkt. Er – wenn ich ihn richtig einschätze – liebt eine solche zentrale Rolle wenig; er hat aber – wie er mit seiner Anwesenheit zum Ausdruck bringt – auch nichts dagegen, wenn man anlässlich seiner Emeritierung Retrospektives und Perspektives über sein Fachgebiet und über seinen persönlichen Werdegang referiert. In meinem Referat wende ich mich an ihn, aber auch an wichtige Persönlichkeiten der TU Berlin, an Kollegen und Kolleginnen unseres engeren und weiteren Fachgebietes sowie an seine Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter und an seine vielen Bekannten und Freunde, die zu diesem Festkolloquium gekommen sind.

Mir ist die Aufgabe der Laudatio zugefallen. Es ist nichts anderes zu erwarten, als dass es eine große Lobrede werden wird. Obwohl – wie nahezu in jedem Leben – auch in seinem Leben Licht und Schatten abwechseln. Heute – am Festkolloquium zu seinen Ehren – werden die hell beleuchteten Seiten herausgestellt.

Beim Studium seines persönlichen und beruflichen Lebensweges sowie seines literarischen Werkes habe ich mich mehrmals nach einem einprägsamen Motto für mein Referat gefragt. Ich kam zu dem Ergebnis, dass er in verschiedener Hinsicht eine sehr *große Spannweite* verkörpert. Ich werde im

Folgenden versuchen, diese große Spannweite in seinem Handeln und Schaffen aufzuzeigen.

Die *geographische Spannweite*, die JÖRG ALBERTZ überbrückt, ist eine vom Südwesten nach Nordosten verlaufende Diagonale in Deutschland. Er ist aufgewachsen in Esslingen am Neckar², studierte in Stuttgart³; er war Oberingenieur an der Universität Karlsruhe⁴. Am anderen Ende der Diagonale, in Berlin, war er Assistent⁵, und 1979 erfolgte der Ruf auf die jetzige Position. Diese Diagonale Stuttgart/Karlsruhe an einem Ende und Berlin am anderen Ende, wurde abgestützt mit einem Studienaufenthalt in Kanada und USA⁶ und vor allem mit einer Professur für Fernerkundung und Photointerpretation an der Technischen Hochschule Darmstadt⁷.

Auch in seiner *Mentalität* verspüre ich eine große Spannweite: Er bevorzugt die Zurückgezogenheit; er wirkt sogar ein bisschen scheu. Andererseits agiert er gekonnt auf der internationalen Bühne bei Tagungen und Kongressen, sowie bei der Diskussion internationaler Großprojekte.

In der *Lehre* reicht seine Spannweite von der Photogrammetrie über die Fernerkundung bis zur Kartographie und den großräumigen Geo-Informationssystemen. An vielen Universitäten im deutschsprachigen Raum gibt es für diese Fachgebiete in der Regel drei Professoren, zumindest aber zwei⁸.

Prof. ALBERTZ spannt den Bogen gerne *von der Vergangenheit über die Gegenwart in die Zukunft*. Zunächst einige Worte zu seinem stark ausgeprägten historischen Bewusstsein und seiner großen Verantwortung, Historisches in Erinnerung zu rufen.

Erstes Beispiel: Die damalige Technische Hochschule Berlin-Charlottenburg hat am 1. 4. 1930 den ersten Lehrstuhl in Deutschland für Photogrammetrie eingerichtet und darauf OTTO LACMANN⁹ berufen. JÖRG ALBERTZ hat – gemeinsam mit Prof. JÄNSCH – eine Festschrift „50 Jahre Photogrammetrie an der Technischen Universität Berlin“ herausgegeben¹⁰. Diese Ausgabe erfolgte anlässlich des 70. Geburtstages von Prof. BURKHARDT, des Nachfolgers von OTTO LACMANN und Vorgängers von JÖRG ALBERTZ.

Zweites Beispiel: In den Räumlichkeiten dieser Universität wurden bereits 1882 die ersten Vorlesungen in Photogrammetrie gehalten, und zwar von ALBRECHT MEYDENBAUER. Für JÖRG ALBERTZ ist es selbstverständlich, einen Anlass für eine entsprechende Würdigung MEYDENBAUERS zu suchen. Im Jahre 1996 hat Prof. ALBERTZ gemeinsam mit dem Brandenburgischen Landesamt für Denkmalpflege und der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung zum Anlass der 75. Wiederkehr des Todestages von ALBRECHT MEYDENBAUER ein wissenschaftliches Kolloquium hier in Berlin veranstaltet¹¹. Im Sinne der Spannweite von der Vergangenheit zur Gegenwart hat es JÖRG ALBERTZ nicht bei dem Festkolloquium, das unter dem Thema „Architekturphotogrammetrie: gestern – heute – morgen“ stand, belassen, sondern er hat gemeinsam mit seinen Mitarbeitern dazu beigetragen, die historischen Photographien der ehemaligen königlichen Messbildanstalt Berlin für eine photogrammetrische Auswertung zu erschließen. Bilder des Messbildarchivs, das sich jetzt in der Obhut des Brandenburgischen Landesamtes für Denkmalpflege befindet, dienen heute der Rekonstruktion in Berlin¹². Noch eine Aktivität im Zusammenhang mit dieser Veranstaltung ist für Prof. ALBERTZ typisch: Er vergisst die in der zweiten und dritten Reihe Stehenden nicht. Ich spreche seine eigenständige Publikation „Franz Stolze und die Photogrammetrie“ an¹³. STOLZE hat mit MEYDENBAUER eng zusammengearbeitet und zu dessen Ruhm viel beigetragen.

In den *Publikationsorganen* seiner etwa 150 wissenschaftlichen Veröffentlichungen gibt es ebenfalls eine große Spannweite. Weniger bekannt ist vermutlich, dass er Beiträge zum „Großen Brockhaus“ geliefert hat, z. B. für die erwähnten Pioniere MEYDENBAUER und STOLZE. Unmittelbar miterlebt habe ich seinen großen und erfolgreichen Einsatz, das Wort Photogrammetrie mit zwei „m“ auch in die neue Rechtschreibung herüber zu retten und uns die völlig ungewohnten drei „m“ zu ersparen¹⁴.

Nun zur großen Spannweite in ALBERTZ' *wissenschaftlichen Arbeiten*. Seine wissen-

schaftlichen Arbeiten reichen von der Elektronenmikroskopie bis zur Auswertung der Bilddaten von Mars-Missionen. Er und seine Mitarbeiter verkörpern diese große Spannweite. Bei den Auswertungen mit dem Elektronenmikroskop geht es um Genauigkeiten im Submikrometerbereich am Objekt; das Objekt sind Werkstoffe, die einer Reibung ausgesetzt werden.¹⁵ Bei der Auswertung der Mars-Aufnahmen geht es um Genauigkeiten im Bereich einiger Meter. Prof. ALBERTZ und seine Gruppe haben sich vor allem auf Bildkarten des Planeten spezialisiert¹⁶. Sehr bekannt sind auch seine Satellitenbildkarten von Afrika¹⁷.

Aus der 1996 vorgesehenen, aber leider nicht zustande gekommenen Mars-Mission ist in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt ein äußerst interessanter Ableger für Flugzeugmissionen entstanden. Die so genannte digitale Dreizeilenkamera mit einem hochentwickelten Positionierungs- und Stabilisierungssystem wird die Luftbildphotogrammetrie revolutionieren. JÖRG ALBERTZ hat gemeinsam mit den Autoren WEWEL, SCHOLTEN und NEUKUM bereits 1998 digitale photogrammetrische Auswertungen dieses modernen Aufnahmesystems publiziert.¹⁸ Die Auswertungen sind sensationell; sie zeigen die Baustelle des Berliner Reichstages und andere Gebiete in Deutschland.

Zur Ergänzung des weiten Arbeitsfeldes, das Prof. ALBERTZ abdeckt, sei noch eine Publikation aus dem Jahre 1999 erwähnt, die gemeinsam mit den Autoren WIEDEMANN und SUTHAU erschienen ist.¹⁹ Dabei geht es um die Rekonstruktion von Skeletten von Sauriern. Es wurden moderne photogrammetrische Verfahren eingesetzt und zum Vergleich auch Nahbereichs-Laser-Scanner, letztere in Zusammenarbeit mit dem Institut für Navigation der Universität Stuttgart.

Die bisher aufgezählten wissenschaftlichen Projekte sind im *Team* entstanden. Ich habe den Eindruck, dass man gerne mit JÖRG ALBERTZ zusammenarbeitet; er hat einerseits Visionen, aber andererseits scheut er sich auch nicht, Detailarbeit zu übernehmen und in das Gesamtwerk einzubringen.

Es gibt einen wissenschaftlichen Bereich, in dem man Prof. ALBERTZ nicht im Team sondern als souveränen und sehr eigenständigen Forscher sieht. Es ist das Gebiet der *visuellen Wahrnehmung unserer Umwelt* und die Umsetzung dieser Erkenntnisse in die menschliche und computerisierte Bildinterpretation.

In diesem Zusammenhang ist *zuerst* sein Buch „Interpretation von Luft- und Satellitenbildern“ zu erwähnen²⁰. Das hohe sprachliche Niveau und die subtil ausgewählten Bildbeispiele machen das Lesen und Studieren zum Vergnügen.

Als *Zweites* sind in diesem Zusammenhang seine beliebten *Vorträge* zu nennen. Ich erinnere mich gut an seinen Vortrag bei der Photogrammetrischen Woche 1969 in Karlsruhe, wo er mir – und sicherlich vielen anderen auch – die „Augen zum menschlichen Sehen“ geöffnet hat²¹.

Als *Drittes* ist in diesem Zusammenhang ein *wissenschaftstheoretischer Ansatz* zu nennen. Eine Weiterentwicklung in der Informationstechnik und in den Ingenieurwissenschaften sieht man gegenwärtig in der Verbindung dieser Disziplinen mit der Biologie. Herr ALBERTZ hat dieses Potential schon längst erkannt, aber auch die Grenzen der technischen Systeme aufgezeigt. Ich möchte einige Sätze aus einem Vortrag²² zitieren, den er anlässlich des 100. Geburtstages von Prof. NEUMAIER in Wien gehalten hat.

Zuerst ein ALBERTZ-Zitat zur *visuellen Wahrnehmung*: „Unsere visuelle Wahrnehmung, das ist fürwahr eine faszinierende Leistung, und zwar nicht eine Einzelleistung, sondern ein ungeheuer komplexes und sehr effektives Zusammenspiel. ... Das Sehen ... ist kein einfach ablaufender Prozess, an dessen Anfang ein bestimmtes physikalisches Reizmuster steht und an dessen Ende sich eine entsprechende Wahrnehmung ergibt. Es ist vielmehr eine aktive Leistung des menschlichen Gehirns. Unsere Erfahrungen und Erwartungen wirken sich darauf aus, sie werden aber ihrerseits auch daraus gespeist.“

Ein ALBERTZ-Zitat zur *Verbindung der menschlichen Wahrnehmung mit der digitalen*

Bildauswertung: „Bei der Gewinnung von Informationen aus Bildern gibt es Aufgaben, die ein Computer besser, schneller und zuverlässiger erledigen kann als es ein Mensch trotz aller seiner Fähigkeiten könnte. Wir sind beispielsweise kaum in der Lage, die Grauwertunterschiede in multispektralen Bilddaten visuell auszuwerten; ein Rechenprozess leitet uns aber daraus eine Klassifizierung der Oberflächen, zum Beispiel die Landnutzung, ab. Wir vermögen auch nicht gewisse Relationen zwischen einzelnen Bildern zu nutzen; rechnerisch können wir aus den Verhältnissen zwischen verschiedenen Spektralkanälen neue Bilddaten ableiten, die gewisse Phänomene erst sichtbar werden lassen.“ Ein bisschen weiter steht in dieser Publikation noch der Satz: „Die Ergebnisse rechnerischer Prozesse werden immer wieder in Bilder umgesetzt und dem staunenden Publikum in Bildform präsentiert.“

Zuletzt ein ALBERTZ-Zitat zu den *Grenzen des computerisierten Sehens*: „Mit großer Wahrscheinlichkeit wird es eines Tages Computer-Methoden geben, die auch die sogenannten „unmöglichen Figuren“ (Anmerkung: abhängig vom Bildbereich, auf den man sich bei der Betrachtung konzentriert, bekommt man einen unterschiedlichen Raumeindruck) auszuwerten vermögen und feststellen können, dass da ‚etwas nicht stimmt‘, vielleicht können sie auch die Art der Inkonsistenz dieser Information aus Bildern identifizieren. Aber es ist kaum vorstellbar, dass es eines Tages einen Computer geben wird, der sich dann ob dieser Erkenntnis in seinen Sessel zurücklehnt und beginnt, darüber zu lächeln.“

Zum Schluss möchte ich ein letztes Mal die große Spannweite des JÖRG ALBERTZ strapazieren. Mit einem Teil meiner Ausführungen wollte ich andeuten, dass Prof. ALBERTZ ein renommierter wissenschaftlicher Experte auf mehreren Gebieten ist. Man wird seiner Persönlichkeit aber nicht gerecht, wenn man ihn nur als wissenschaftlichen Experten auswies. Er ist nämlich auch ein großer *Humanist*. Er ist zum Beispiel Präsident der FREIEN AKADEMIE, einer Organisation, die sich die wissenschaftliche und kulturelle Auseinandersetzung mit Da-

seins- und Wertfragen unserer Zeit zum Ziel gesetzt hat. Bei der Vorbereitung meines Referats ist mir zufällig ein Beitrag von HANS KÜNG²³ in die Hände gefallen, der die Thesen zu dem von KÜNG propagierten Weltethos enthält. Drei dieser Thesen sind meines Erachtens JÖRG ALBERTZ auf den Leib geschrieben:

- Handle gerecht und fair!
- Rede und handle wahrhaftig!
- Achtet einander!

Mit diesen drei Thesen möchte ich meine Ausführungen schließen, mit denen ich Ihnen den Universitätslehrer, den Wissenschaftler, den Projektmanager und den Humanisten JÖRG ALBERTZ näher bringen wollte.

Anmerkungen

- 1 Am 6. April 2001 fand an der TU Berlin ein Festkolloquium anlässlich der Verabschiedung von Prof. JÖRG ALBERTZ statt. Diese Veröffentlichung ist das Manuskript meiner Laudatio. Dabei wurde nicht sein bisheriges Lebenswerk umfassend dargestellt, sondern eine persönlich gefärbte Sicht auf JÖRG ALBERTZ versucht. Um die anregende Stimmung während des Festkolloquiums auch in diese Veröffentlichung zu übertragen, wird das Vortragsmanuskript unverändert veröffentlicht. Als Fußnoten wurden einige Ergänzungen aufgenommen.
- 2 Geboren am 29. (!) 2. 1936 in Esslingen als jüngerer Zwilling.
- 3 Studienabschluss 1959.
- 4 Am Institut für Photogrammetrie und Topographie vom 1968 bis 1975.
- 5 Am Lehrstuhl für Photogrammetrie und Kartenkunde der Technischen Universität Berlin von 1959 bis 1965, Promotion 1965, freiberufliche Tätigkeit in Berlin in den Jahren 1966 und 1967.
- 6 Von September 1973 bis März 1974. Seine Arbeit "Fernerkundung in den USA" (Bildmessung u. Luftbildwesen 1974, S. 106–115) wurde mit dem Hansa-Luftbild-Preis ausgezeichnet.
- 7 C3-Professur vom September 1975 bis November 1979.
- 8 JÖRG ALBERTZ kann die Studierenden für sein Fachgebiet begeistern. Er besitzt die Fähigkeit, auch sehr komplexe Zusammenhänge anschaulich darzustellen.
- 9 Durch das Engagement von Prof. ALBERTZ wurde an der TU Berlin die „Otto-Lacmann-Stiftung zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses auf den Gebieten Photogrammetrie, Fernerkundung und Kartographie“ ins Leben gerufen, die wissenschaftliche Mitarbeiter und Doktoranden durch Stipendien und Reisekosten u.Ä. unterstützt.
- 10 Universitätsbibliothek der TU Berlin, Abt. Publikationen, ISBN 3 7983 0751 2
- 11 Universitätsbibliothek der TU Berlin, Abt. Publikationen, ISBN 3 7983 1700 3
- 12 WIEDEMANN, A.: Photogrammetrische Rekonstruktion zerstörter Bauten aus historischen Fotografien. Publikationen der DGPF, Band 9, 2001, im Druck.
- 13 Wissenschaftlich-technische Jahrestagung der DGPF, Berlin, 1985, S. 29–47.
- 14 PFG 1999, H. 6, S. 409 u. 2000, H. 3, S. 231.
- 15 HEMMLEB, M.; ALBERTZ, J.: Photogrammetrische Auswertung elektronenmikroskopischer Bilder – Grundlagen und praktische Anwendung. PFG 1998, Heft 1, S. 5–16.
- 16 LEHMANN, H.: A New Map Series for the Planet Mars – Concept and Realization of the 'Topographic Image Map MARS 1 : 200000'. Internat. Archives for Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B4, S. 497–502.
- 17 ALBERTZ, J.: Beiträge der Satelliten-Fernerkundung zur topographischen und thematischen Kartierung. 43. Deutscher Kartographentag, Trier 1994, S. 27–44.
- 18 WEWEL, F.; SCHOLTEN, F.; NEUKUM, G.; ALBERTZ, J.: Digitale Luftbildaufnahme mit der HRSC – Ein Schritt in die Zukunft der Photogrammetrie. PFG 1998, Heft 6, S. 337–348.
- 19 WIEDEMANN, A.; SUTHAU, T.; ALBERTZ, J.: Photogrammetric Survey of Dinosaur Skeletons. Mitt. Mus. f. Naturkunde Berlin, Geowiss. Reihe 2, S. 113–119, 1999.
- 20 Verlag Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1991; Neuauflage im Druck.
- 21 Vgl.: Sehen und Wahrnehmen bei der Luftbildinterpretation. Bildmessung u. Luftbildwesen 1970, S. 25–34.
- 22 ALBERTZ, J.: Information aus Bildern – 100 Jahre Entwicklung in Photogrammetrie und Fernerkundung. Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation, 85. Jahrgang, Heft 4, S. 251–259, 1997.
- 23 Österreichische Tageszeitung „Der Standard“ vom 17. 3. 2001.

Vorankündigungen*

2001

11.–12. September: 38. Sitzung der **Arbeitsgruppe „Automation in der Kartographie“** im Landesvermessungsamt Baden-Württemberg, Büchsenstraße 54, 70172 **Stuttgart**. Auskünfte durch: Frau Helga Koch, Institut für Kartographie und Geoinformation der Universität Bonn, Meckenheimer Allee 172, 53115 Bonn, Tel.: 0228-73-35 27, Fax: 0228-73-77 56, e-mail: koch@mail.ikg.uni-bonn.de

12.–14. September: First Annual Meeting of the Remote Sensing and Photogrammetric Society „**Geomatics, Earth Observation and the Information Society**“ in **London, U.K.** Auskünfte durch e-mail: rss@nottingham.ac.uk, <http://www.the-rss.org>

17.–18. September: **OEEPE Workshop „Integrated Sensor Orientation“** in **Hannover**. Auskünfte durch: boettcher@ipi.uni-hannover.de, www.ipi.uni-hannover.de/ISPRSworkshop.htm

17.–20. September: **5th International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition** in **San Francisco**. Auskünfte durch: Veridian/ERIM International Conferences. Fax: +1-734-994 51 23, e-mail: wallman@erim-int.com

19.–21. September: „**High Resolution Mapping from Space 2001**“ . **ISPRS Workshop** der AG I/2, I/5, IV/7 in **Hannover**. Auskünfte durch: boettcher@ipi.uni-hannover.de, www.ipi.uni-hannover.de/ISPRSworkshop.htm

24.–28. September: **48. Photogrammetrische Woche** in **Stuttgart** (Z/1 Imaging). Auskünfte durch: Institut für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, Geschwister-Scholl-Straße 24, 70174 Stuttgart, Tel.: + 49-71 1-121-32 01, Fax: + 49-711-121-32 97, e-mail:

martina.kroma@ifp.uni-stuttgart.de, www.ifp.uni-stuttgart.de/Phowo/index.htm

29. September: Einstieg in die **Ausgleichsrechnung für Vermessungstechniker** in **Essen**. Auskünfte durch: Prof. Dr.-Ing. Hans Fröhlich, Universität Essen, Fachbereich Vermessungswesen, Henri-Dunant-Straße 65, 45131 Essen. Tel.: 0201-183-7353 oder 7366, Fax: 0201-183-7389, e-mail: hans.froehlich@uni-essen.de

1.–3. Oktober: **5th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques** (FIG Com.V, ISPRS Com.V, ISPRS WG VI/2, IAG Sect.I-Spec.Com.4) in **Wien**. Auskünfte durch: Prof. Dr. Heribert Kahmen, Tel.: +43-1-58801-12895, e-mail: hkahmen@pop.tuwien.ac.at, Prof. Dr. Armin Gruen, Tel.: +41-1-633-3038, Fax: +41-1-633-1101, e-mail: agruen@geod.ethz.ch, Prof. Mark R. Shortis, Tel.: +61-3-9347-2480, e-mail: m.shortis@unimelb.edu.au, <http://info.tuwien.ac.at/ingeo/optical3d/o3d.htm>

2.–5. Oktober: **International Conference on Spatial Information for Sustainable Development FIG & ISPRS** in **Nairobi, Kenia**. Auskünfte durch: Makku Villikka, Dir., FIG office. Tel.: +45-3886-1081, oder +45-2343-8910, Fax: +45-3886-0252, e-mail: markku.villikka@fig.net oder FIG@ddl.org, <http://fig3.boku.ac.at/call4papers.kenya.html>, <http://www.ddl.org/figtree/events/events2001.htm>, <http://www.ddl.org/figtree/events/nairobi.htm>

7.–12. Oktober: **20th Brazilian Congress of Cartography, 9th Congress of Land-Surveying, 8th Iberoamerican Conference on GIS** in **Porto Alegre, Brasil**. Auskünfte durch: Prof. Francisco Braganca, Tel.: +55-51-233-3277, Fax: +55-51-231-9851, e-mail: xxcbc@orion.ufrgs.br, www.carto-grafia.org.br

8.–10. Oktober: **OEEPE/ ISPRS Workshop „From 2 D to 3 D – Establishment and Maintenance of National Core Geospatial Databa-**

* Vgl. auch: PFG 1/2001, S. 69–72, 2/2001, S. 142–143 und 3/2001, S. 224–225

ses“ in **Hannover**. Auskünfte durch: andrea.jancke@lgn.nieder-sachsen.de, <http://www.ipi.uni-hannover.de/isprs-wg2-4-oepe-isprs-2001.html>

9.–10. Oktober: **ISPRS Com.VI Seminar on Education in Porto Alegre**, Brasil. Auskünfte durch: Dr. Tania Maria Sausen, Tel.: +55-12-345-68 62, Fax: +55-12-345-68 70, e-mail: tania@ltid.inpe.br

29.–31. Oktober: ISPRS-Workshop der AG IV/3, 5, 6 und 7- **Challenges in Geo-Spatial Analysis, Integration and Visualization** im Georgia Center for Continuing Education der University of Georgia in **Athens, USA**. Auskünfte durch: Dr. Marguerite Madden, e-mail: mmadden@crms.uga.edu oder Dr. Jochen Schiewe, Co-Chairman der AG IV/6 der ISPRS, „Landscape Modelling and Visualization“ . e-mail: jschiewe@iuw.uni-vechta.de
Internet: http://www.crms.uga.edu/wg_iv6/joint_workshop.htm

8.–9. November: ISPRS Symposium „**Geodetic, Photogrammetric and Satellite Technologies – Development and Integrated Application**“ in **Sofia**, Bulgarien. Auskünfte durch: Georgi Milev, e-mail: milev@argo.bas.bg

8.–9. November: **IEEE/ ISPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas in Rom**, Italien. Auskünfte durch: Paolo Gamba, Dip. Di Eletttronica, Università di Pavia, 27100 Pavia, e-mail: p.gamba@ele.unipv.it, Web: tlc.unipv.it/urban_2001

2002

21.–26. April: **XII FIG Congress & XV General Assembly in Washington, DC**. Auskünfte durch: Mary Clawson, e-mail: clawson@nima.mil

23.–25. Januar: **Fusion of Earth Data – Fourth International Conference (EARSeL SIG Workshop)** in **Sophia Antipolis**, Frankreich. Auskünfte durch: www-datafusion.cma.fr/conf, e-mail: fusion@cenerg.cma.fr

4.–6. Juni: 22nd **EARSeL Symposium and General Assembly: Geoinformation for Euro-**

pean-Wide Integration in Prag, Tschechische Republik. Auskünfte durch: Dr. Tomas Benes, UHUL Forest Management Institute, Tschechische Republik. Tel.: +42-0202800121, Fax: +42-0202803371, e-mail: benes@uhul.cz, Web: www.uhul.cz

24.–28. Juni: **IGARSS 2002 in Toronto**, Kanada. Auskünfte durch: Tammy Stein, IEEE Geoscience and Remote Sensing Society. Tel.: +1-281-251 60 67, Fax: +1-281-251 60 68, e-mail: tstein@phoenix.net. Web: www.igrss.org

9.–12. Juli: **ISPRS Symposium Com. IV** und 10. Konferenz **Spatial Data Handling in Ottawa**. Auskünfte durch: Pres.Dr. Costas Armenakis, Tel.: +1-613-992 44 87, Fax: +1-613-995 41 27, e-mail: armenaki@nrccan.gc.ca

20.–23. August: **ISPRS Symposium Com. II in Xian**, China. Auskünfte durch: Pres.Prof. Chen Jun, Tel.: +86-10-6842 40 72, Fax: +86-10-6842 41 01, e-mail: chenjun@nsdi.gov.cn

3.–6. September: **ISPRS Symposium Com. V in Corfu**, Griechenland. Auskünfte durch: Pres.Prof. Petros Patias, Tel.: +30-31-99 61 16, Fax: +30-31-99 61 28, e-mail: patias@topo.auth.gr

9.–13. September: **ISPRS Symposium Com. III in Graz**, Österreich. Auskünfte durch: Pres.Prof. Franz Leberl, Tel.: +43-316-873 50 11, Fax: +43-316-873 50 50, e-mail: leberl@icg.tu-graz.ac.at

10.–12. September: **ISPRS Symposium Com. VI in Rio de Janeiro**. Auskünfte durch: Pres.Dr. Tania Maria Sausen, Tel.: +55-12-345 68 62, Fax: +55-12-345 68 70, e-mail: tania@ltid.inpe.br

24.–26. September: **22. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF in Neubrandenburg**. Auskünfte durch: Dr. Klaus-Ulrich Komp, Präsident DGPF, e-mail: Praesident@dgpf.de, Dr.-Ing. Manfred Wiggenhagen, Sekretär DGPF, e-mail: wigge@ipi.uni-hannover.de, Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kresse, FH Neubrandenburg, e-mail: kresse@fh-nb.de, <http://www.gdpf.de>

16.–18. Oktober: INTERGEO 2002 in Frankfurt a.M. Auskünfte durch: DVW-Geschäftsstelle, Leiterin Frau Christiane

Salbach, e-mail: christiane.salbach@dvw.de oder DVW-Office@t-online.de, <http://www.Intergео.de>

Hochschulnachrichten

Technische Universität Wien

Dipl.-Ing. FRANZ ROTTENSTEINER wurde am 15.3.2001 an der Fakultät für Technische Naturwissenschaften und Informatik der Technischen Universität Wien mit der Dissertation „Halbautomatische Gebäudeextraktion durch hybride Ausgleichung unter Einbeziehung von 3D Flächenmodellen sowie die Verwaltung von Gebäudedaten in einem TIS“ zum Dr.-techn. promoviert. Referenten waren Prof. Dr. JOSEF JANSKA und Prof. Dr. WERNER SCHNEIDER (Universität für Bodenkultur). Die Dissertation wird als Geowissenschaftliche Mitteilung der Studienrichtung Vermessung und Geoinformation der TU Wien als Heft Nr. 56 veröffentlicht. Details siehe http://www.ipf.tuwien.ac.at/dissertationen/diss_liste.html

Autorreferat

In dieser Arbeit wird eine neue Methode zur halbautomatischen Gebäudeextraktion ebenso vorgestellt wie ein Konzept für die gemeinsame Speicherung und Verwaltung von Gebäudemodellen, Gelände- und anderen topographischen Daten in einem topographischen Informationssystem (TIS). Für die Gebäudeextraktion wird ein hybrides Modellierungsschema angewandt: Während es eine auf dem Prinzip der CSG (Constructive Solid Geometry) aufbauende Benutzerschnittstelle gibt, die es erlaubt, jedes Gebäude zuerst in eine Menge von einfachen Primitiven zu zerlegen, die dann mit Hilfe Boolescher Operatoren kombiniert werden, basiert die interne Datenstruktur sowohl dieser Primitive als auch der zusammengesetzten Gebäude auf dem Prinzip der Modellierung durch Begrenzungsflächen. Die Primitive werden dem Benutzer in einer Datenbank von häufig auftretenden Gebäudeformen zur Verfügung gestellt. Der Arbeitsablauf zur Rekonstruktion eines einzelnen Primitivs umfasst vier Schritte:

1. Auswahl eines Primitivs aus der Datenbank
2. Interaktive Modifikation des Primitivs
3. Automatische Feinmessung
4. Visuelle Inspektion und gegebenenfalls interaktive Nachbearbeitung.

In allen Phasen dieses Auswerteprozesses übernimmt die Integration von robuster Parameterschätzung und Objektmodellierung eine Schlüsselrolle: Intern werden sowohl das gesamte Gebäude als auch die einzelnen Primitive als Flächenmodelle dargestellt. Die spezifischen Eigenschaften dieser Flächenmodelle ergeben sich unmittelbar aus den Erfordernissen der Parameterschätzung im photogrammetrischen Prozess. Die Parameter der Gebäudeflächen und die Objektkoordinaten der Gebäudeecken werden simultan durch eine hybride Ausgleichung sowohl von beobachteten Bildkoordinaten als auch von „Flächenbeobachtungen“ bestimmt, d. h. von Beobachtungen der Art, dass ein Punkt auf einer Fläche im Objekt-raum liege, die ihrerseits einer Fläche des zu rekonstruierenden Objektes zugeordnet ist.

Durch die spezifische Art der Integration der Schätzung der Flächenparameter muss nur eine minimale Anzahl von Parametern für jedes Primitiv verwendet werden, obwohl die Modellierung durch Begrenzungsflächen erfolgt. Weiter kann mit Hilfe dieser Modellierungstechnik die Datenbank der Gebäudeprimitive sehr leicht erweitert werden. Die neue Methode ist flexibel genug, um alle Gebäude rekonstruieren zu können, die durch Polyeder beschreibbar sind.

Das Verfahren zur automatisierten Feinmessung der Gebäudeprimitive ist in ein allgemeines Konzept zur automatisierten Rekonstruktion von Objekt-oberflächen eingebunden und beruht auf der hierarchischen Anwendung von merkmalsbasierten Zuordnungsverfahren im Objektraum. Wiederum

wird die Integration des Objektraumes in den Zuordnungsprozess mit Hilfe der oben beschriebenen Modellierungstechnik auf Basis des Prinzips der Flächenbeobachtungen erreicht. Falsche Zuordnungen werden dabei durch robuste Schätzverfahren eliminiert.

Sobald ein Gebäude rekonstruiert worden ist, wird es in einem TIS gespeichert. Die Verwaltung von Gebäude-, Gelände- und, falls vorhanden, anderer topographischer Daten beruht auf einem einheitlichen Prinzip: die Metadaten werden in einer relationalen Datenbank mit spezifischen Erweiterungen zur Verwaltung topographischer Daten verwaltet. Die tatsächlichen Daten werden in der Datenbank als binäre große Objekte behandelt. Für den Zugriff auf diese hybriden topographischen Daten in Applikationsprogrammen wurde eine objektorientierte Schnittstelle erstellt.

Die neue Methode ist in die am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien entwickelten Programme integriert, insbesondere in ORPHEUS und ORIENT für die monoskopische interaktive Messung in digitalen Bildern bzw. für die Ausgleichung hybrider Beobachtungen. Die Rolle des TIS wird von SCOP.TDM übernommen.

Das neue Verfahren wurde an Hand eines Testprojekts im niederösterreichischen Ort Stoitzendorf (Bildmaßstab: 1 : 4500, Kammerkonstante: 15 cm, 70 % Längs- und 50 % Querüberdeckung) untersucht. In diesem Testprojekt, in dem die meisten Gebäude in sechs Bildern sichtbar waren, zeigte sich, dass das automatisierte Modul bei gut definierten Dachkanten Ergebnisse mit einer Genauigkeit von $\pm 2-5$ cm in der Lage und $\pm 5-10$ cm in der Höhe gibt. Der Einfluss der wichtigsten Steuerparameter des automatisierten Moduls auf die Ergebnisse dieses Testprojektes wurde ebenso untersucht wie die Bedingungen, unter denen es scheiterte. Weiters wurden für einen Teil des Ortes alle Gebäude unter Verwendung des hier vorgestellten Verfahrens rekonstruiert, um auf exemplarische Weise seine Anwendbarkeit zu demonstrieren.

Zum Titelbild

Der Französische Dom zu Berlin Messbild von 1882



Am Anfang aller Architekturphotogrammetrie steht der Name ALBRECHT MEYDENBAUER. Der 1834 in Tholey geborene MEYDENBAUER studierte an der Bauakademie in Berlin und wurde danach als junger Regierungsbauführer mit Aufmaßarbeiten am Wetzlarer Dom beauftragt, bei denen er im September 1858 fast einem Unfall zum Opfer gefallen wäre. Dies brachte ihn auf die Idee, von der gefährlichen Messung am Objekt zur indirekten Messung in fotografischen Bildern überzugehen. Jahrzehntlang arbeitete er an der praktischen Verwirklichung seiner Idee und kämpfte um die Anerkennung des Messbild-Verfahrens, für das er selbst den Begriff *Photogrammetrie* einführte. Zugleich strebte er die Schaffung eines *Denkmälerarchivs* an, in dem wichtige Baudenkmäler in Messbildern vollständig dokumentiert werden sollten. In Vorträgen, Veröffentlichungen und Denkschriften warber für dieses Ziel in einer so weitblickenden Weise, dass er nicht nur zum Pionier der Photogrammetrie, sondern auch der Denkmalpflege wurde.

Sein unermüdliches Bemühen führte im Jahre 1885 zur Gründung der *Königlich Preußischen Meßbildanstalt*, der weltweit ersten photogrammetrischen Institution über-

haupt. Sie bediente sich der von MEYDENBAUER entwickelten Aufnahme- und Auswertemethoden, die auf den Regeln der Darstellenden Geometrie basierten und auf die stereoskopische Technik verzichteten. MEYDENBAUER leitete die Anstalt bis zu seinem Ruhestand 1909 (er starb 1921 in Bad Godesberg). Bis 1920 wurden über 2.600 Bauwerke in rund 20.000 Messbildern erfasst. Nach einer wechselvollen Geschichte befindet sich das Bildmaterial heute als *Messbildarchiv* in der Obhut des Brandenburgischen Landesamtes für Denkmalpflege in Waldstadt-Wünstorf.

Das Bild des Französischen Doms zu Berlin, das auf der Titelseite im Ausschnitt gezeigt wird, hat historisch eine besondere Bedeutung. Es war im Frühjahr 1882 im Rahmen einer Lehrveranstaltung aufgenommen worden, die MEYDENBAUER auf Veranlassung des Preußischen Kultusministers an der Technischen Hochschule Berlin abgehalten hat. Damit sollten Professoren und Assistenten mit seinem Verfahren vertraut gemacht werden. Die Veranstaltung fand beim Lehrkörper enttäuschend geringes Interesse. Gleichwohl danken wir ihr eine frühe photogrammetrische Dokumentation eines Baudenkmals. Das Bild ist im damals bevorzugten Plattenformat von 40 cm × 40 cm mit diagonaler Sicht auf das Bauwerk aufgenommen, eine für die grafische Auswertung besonders günstige Blickrichtung. Sowohl die damals aufgenommenen Bilder wie auch die gewonnenen Zeichnungen konnten rund 100 Jahre später zur Rekonstruktion des kriegsbeschädigten Domes (1977 bis 1982) beitragen.

Literatur

- MEYER, R., 1985: Albrecht Meydenbauer – Baukunst in historischen Fotografien. Fotokinoverlag Leipzig.
- ALBERTZ, J. & A. Wiedemann (Hrsg.), 1997: Architekturphotogrammetrie – gestern, heute, morgen. Wissenschaftliches Kolloquium zum 75. Todestag von Albrecht Meydenbauer am 15. November 1996. Technische Universität Berlin.

JÖRG ALBERTZ, Berlin