



## Die digitale Photogrammetrie als Werkzeug der Architekturbildmessung

Klaus Hanke <sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, Institut für Geodäsie, Technikerstraße 13, A-6020 Innsbruck*

VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation **84** (2), S. 207–213

1996

BibT<sub>E</sub>X:

```
@ARTICLE{Hanke_VGI_199633,  
  Title = {Die digitale Photogrammetrie als Werkzeug der Architekturbildmessung  
    },  
  Author = {Hanke, Klaus},  
  Journal = {VGI -- {"0}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessung und  
    Geoinformation},  
  Pages = {207--213},  
  Number = {2},  
  Year = {1996},  
  Volume = {84}  
}
```





# Die digitale Photogrammetrie als Werkzeug der Architekturbildmessung

Klaus Hanke, Innsbruck

## Zusammenfassung

Die Methoden der digitalen Photogrammetrie beginnen inzwischen auch in der traditionell eher konservativen Architekturbildmessung Fußzufassen. Neben den aus der Luftbildmessung übernommenen Auswerteverfahren und -programmen werden vor allem Low-cost Systeme für Anwendungen in Architektur, Denkmalpflege und Archäologie eingesetzt. Neue Strategien für Aufnahme, Auswertung und Darstellung dafür sind in Entwicklung.

## Abstract

Digital photogrammetric methods have made their way also into architectural applications which is traditionally a rather conservative branch. Beside the programs and techniques that have been adopted from aerial photogrammetry mainly low-cost systems are used for architectural and archaeological applications. New strategies for data acquisition, restitution and presentation of the digital data are under development.

## 1. Einleitung

Digitale Methoden halten heute in der Photogrammetrie grundsätzlich in allen Bereichen Einzug. Die einfache Handhabung, die komfortable und übersichtliche Verarbeitung mit teils handelsüblichen Computern sowie große Vorteile bezüglich Anschaffungspreis von Hard- und Software etc. haben dieser Technologie zum Durchbruch verholfen [1]. Die leichte Verfügbarkeit digitaler Bilder gerade in den Nahbereichsanwendungen durch Photo CD und digitale Kameras sowie die überschaubare Datenmenge pro Bild lassen gerade diesen Bereich für digitale Photogrammetrie prädestiniert erscheinen.

## 2. Aufgabenstellung der Architekturbildmessung

Die Architekturbildmessung zählt mit zu den ältesten Anwendungen der Photogrammetrie. Der Architekt Albrecht Meydenbauer hatte schon vor ca. 140 Jahren (nach einem Beinahe-Absturz von einem Bauaufnahme-Gerüst) die Idee, aus sicherer Entfernung vom Objekt gemachte Photos für Fassadendarstellungen heranzuziehen. Ihm ist ein wesentlicher Anstoß für die Entwicklung dieser Methode zu verdanken.

Als Methode der Bauaufnahme stellt die Architekturphotogrammetrie im allgemeinen eine Hilfsdisziplin im Dienste der Architekten, Archäologen und Denkmalschützer dar. Dabei kommen im wesentlichen zwei miteinander gekoppelte Methoden zum Einsatz: die Architekturbildmes-

sung, die durch Umkehrung der Zentralperspektive eine berührungslose Vermessung von maximaler Objektivität und Genauigkeit liefert, und das Handaufmaß, das dem Baufachmann vor Ort die Gelegenheit zur Ergänzung, Detaillierung und direkte Kontaktnahme (das „Begreifen“) des Objekts erlaubt. Das eine ist ohne das andere unvollständig und erzeugt entweder nur „farblose“ (weil rein technische) Beschreibungen und Pläne eines Baudenkmals, ohne dessen Charakter zu dokumentieren oder liefert möglicherweise keine ausreichende geometrische „Richtigkeit“, die als Grundlage für nachfolgende Arbeiten im allgemeinen als notwendig zu erachten ist.

Als klassische Ergebnisse der Architekturphotogrammetrie sind Risse und Fassadenpläne (Abb.1 und 2), Schnitte und Ansichten anzusehen. Zusätzlich gewinnt aber die Erzeugung von räumlichen Linien-, Flächen- und Volumsmodellen in CAD-Systemen als Folge einer streng dreidimensionalen Auswertung an Bedeutung. Letztere hat natürlich, wie im übrigen Vermessungsbereich auch, den Vorteil der leichten und einfachen 3D-Weiterverarbeitung durch den Auftraggeber sowie eine „blattschnittfreie“ Verwaltung der gelieferten räumlichen Daten.

Als konkrete Aufgabenstellungen ergeben sich die Erzeugung von Plan- und Planungsgrundlagen für die Altstadtsanierung und Stadtplanung, für Ortsbildschutz und Dorferneuerung, Planung in Baulücken sowie als Beweismittel bei Veränderungen des Gebäudes und als Entscheidungshilfe für Baubehörden bei der Erstellung von Bebauungsplänen und bei der Farbgestaltung.



Abb. 1: Massische (Strichauswertung) und digitale Version (Orthobild) eines Fassadenplans

International spielt die Architekturbildmessung natürlich zur Erhaltung und Dokumentation von Denkmalen des sogenannten „Kulturellen Welt-

erbes“ eine bedeutende Rolle. Die Erfassung von gefährdeten Bauten, sei es wegen Kriegsgefahr, Umwelkatastrophen oder Vandalismus, stellt heute qualitativ und quantitativ eine große Herausforderung an die Architekturphotogrammetrie in aller Welt dar. Das Fehlen jedweder planlichen (maßstäblicher) Aufzeichnungen über viele historische Bauten macht eine Rekonstruktion bzw. Restauration häufig schwierig, wenn nicht unmöglich. Die Brände der letzten Zeit von so bedeutenden Baudenkmalen wie der Wiener Hofburg, dem Opernhaus „La Fenice“ in Venedig oder Windsor Castle sowie die teilweise Zerstörung der Altstädte von Dubrovnik und Mostar im Kriegswahnsinn des Balkans, wie auch die Erinnerung an die Zerstörung wichtiger Baudenkmale als Folge der Weltkriege dieses Jahrhunderts zeigen nur zu deutlich, wie notwendig und wünschenswert eine möglichst vollständige photogrammetrische Dokumentation dieser historischen Bauten in aller Welt wäre [2].



Abb. 2: Verkleinerter Ausschnitt eines Fassadenplanes des Stifts Stams/Tirol

Es ergibt sich somit insgesamt eine komplexe Aufgabenstellung für die Architekturphotogrammetrie, die in ihrer Umsetzung im wesentlichen nur

durch die finanziellen und personellen Möglichkeiten der einzelnen Staaten bzw. der UNESCO begrenzt bleiben muß.

### 3. Historische Entwicklung

Die Anfänge der Architekturbildmessung führten oft zu speziellen, genau auf diese Anwendungen hin entwickelten Geräten zur Aufnahme und Auswertung. Einerseits waren diese geprägt durch den Wunsch zur einfachen Durchführung von Standardkonfigurationen u.a. auch durch Nicht-Photogrammeter, andererseits wurde häufig auf spezielle Anforderungen der Architekturphotogrammetrie bedacht genommen (z.B. Kombination mit anderen geodätischen Meßmitteln, Stereokammern, transportable Ausrüstung, Neigungsrechner, etc.) [3]. Häufig trafen sich dabei auch die Anforderungen anderer Anwendungen wie z.B. die der topographisch-terrestrische Aufnahme.

Mit dem Aufkommen analytischer Methoden gelang der Übergang zu allgemein verfügbaren Geräten. Der Weg von der klassischen, kalibrierten Meßkammer zur handlichen Teilmeßkammer, ja bis zum Einsatz von Nichtmeßkameras mit on-the-job-Kalibrierung ist weitgehend abgeschlossen. Die beiden letztgenannten sind in der Architekturphotogrammetrie (mit Ausnahme höchster Genauigkeitsanforderungen) derzeit als Stand der Technik zu betrachten. Die dabei erzielten Ergebnisse sind sehr zufriedenstellend und für den angestrebten Zweck auch als ausreichend zu erachten.

Die Entzerrung von Meßbildern gehört ebenfalls zum klassischen Repertoire dieses Zweiges der Photogrammetrie. Waren es ursprünglich Abbildungen von Ebenen, die umgebildet wurden, so gab es in der Folge erfolgreiche Versuche, Bilder beliebig gekrümmter Flächen durch photographische (analoge) Differentialentzerrung in Fassadenpläne zu verwandeln [4]. Diese Ansätze stoßen durch die Beschränkung auf Oberflächen, die sich als Funktion ihrer „Grundriß“-Koordinaten beschreiben lassen, also Flächen der allgemeinen Form  $z = f(x, y)$ , bald an ihre Grenzen. Architekturobjekte sind in ihrer allgemeinen Ausprägung kaum in der erwähnten Form zu beschreiben, sondern enthalten vielmehr oft Vorsprünge, Nischen und Erker, verdeckte Teile und „sprunghafte“ Oberflächen, kurz: sind „echte“ dreidimensionale Objekte. Deshalb ist insgesamt eine dreidimensionale Rekonstruktion eines Bauwerks jedenfalls einer Fassadenwelse vorzuziehen, häufig kann auch gar

keine triviale Unterteilung des Bauwerks in einzelne Fassaden (z.B. bei stark gekrümmten Oberflächen) vorgenommen werden.

### 4. Digitale Methoden

Die digitale Photogrammetrie fügt dieser Entwicklung ganz neue Facetten hinzu [5]. Ursprung der Bilder können entweder direkt digitale Kameras oder gescannte herkömmliche (analoge) Photos sein. Für letzteres hat sich die von Kodak entwickelte Photo CD hervorragend bewährt. Sie entbindet den Photogrammeter von der Notwendigkeit einen professionellen Scanner anzuschaffen und bietet einen hohen Grad an geometrischer Stabilität und Treue der gescannten Bilder [6, 7]. Außerdem ist die Compact Disc ein hervorragendes Speichermedium zum dauerhaften Archivieren des Datenmaterials. Darüber hinaus eignet sich dieses Verfahren auch bei Verwendung bereits vorhandener Meßbilder (ein Standardfall z.B. bei der Rekonstruktion zerstörter Baudenkmale) bis zum Format 4 x 5 Zoll mit Auflösungen bis zu 4096 x 6144 Bildpunkten. Digitale Kameras vergleichbarer Qualität sind dem gegenüber noch verhältnismäßig teuer und verfügen nur über relativ kleine Bildflächen bzw. für Meßzwecke unzureichende Auflösung. Eine starke Entwicklung in diese Richtung ist jedoch absehbar.

Bei der Auswertung zeigen sich nun die Stärken der Digitalphotogrammetrie. Analytische Plotter werden durch handelsübliche und daher allgemein verfügbare PCs oder Workstations abgelöst. Die digitalen Methoden der Mustererkennung und Bildkorrelation unterstützen den Auswerter weitgehend bei der Herstellung der inneren und äußeren Orientierung des Bildverbandes.

Die automatische Auswertung des Bildinhalts bereitet in der Architekturphotogrammetrie jedoch einiges Kopfzerbrechen. Anders als in der Luftbildmessung ist der gesuchte Inhalt der Auswertung nicht immer so klar zu beschreiben und somit auch nur schwer (z.B. durch wissensbasierte Systeme) algorithmisch beschreibbar. Darüber hinaus ist aufgrund der schon erwähnten „echt“ dreidimensionalen Objekte mit ihren vor- und rückspringenden sowie immer wieder auch verdeckten Teilen der Oberfläche jeder glatte oder glättende Algorithmus von vornherein zum Scheitern verurteilt. Kein Objektpunkt kann hier, wie in der Aerophotogrammetrie üblich, bei der Suche nach „Ähnlichem“ als Näherung für seinen Nachbarn gelten, dazwischen könnte ein

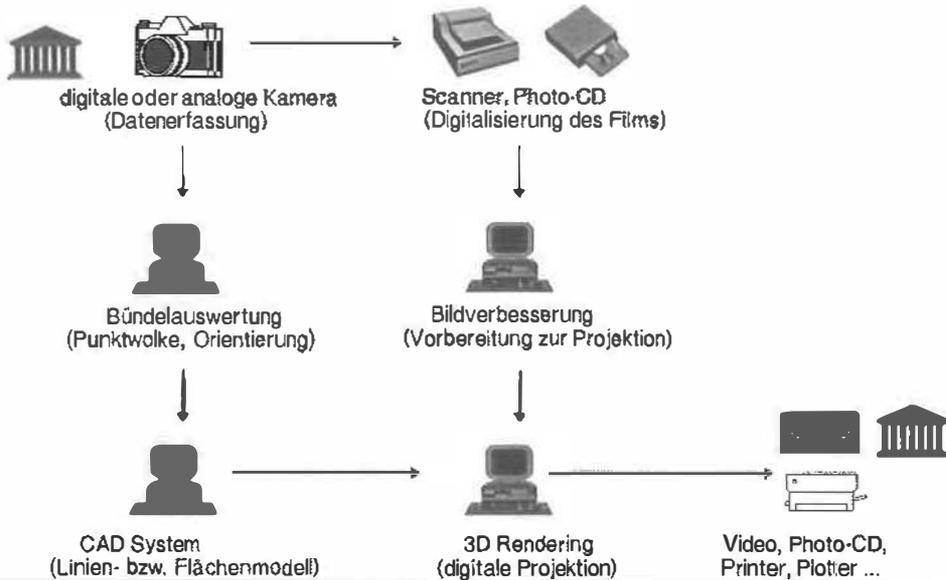


Abb. 3: Datenfluß der digitalen Architekturbildmessung

Unterschied in der räumlichen Tiefe von einigen Metern liegen. Die Lösung liegt wohl in einer fortwährenden Interaktion zwischen Auswerter und Computer. Einmal z.B. auf die Spur einer auszuwertenden Linie gesetzt, kann die Software weitgehend selbständig deren Verlauf folgen. Die dadurch gewonnenen Linieninformationen können nach Diskretisierung und gegenseitiger Zuordnung als räumliche Splines zur Rekonstruktion von Objekten beitragen [8]. Auch die Vorgabe von auszuwertenden Elementen unter Verwendung von Skizzen führt bereits zu guten Erfolgen [9]. So liegt der Fortschritt bei der digitalen Auswertung gerade im Bereich der Architekturbildmessung sicher vorwiegend in einer interaktiven, teilautomatisierten Unterstützung des Auswerters bei wiederkehrenden Teilaufgaben, denn in einer undifferenzierten Vollautomatisierung.

### 5. Neue Wege in der 3D-Rekonstruktion

Am Institut für Geodäsie der Universität Innsbruck wurden vom Autor in den letzten Jahren verstärkte Anstrengungen unternommen, diese Entwicklung mitzugestalten. Die bestehenden guten Kontakte zu Architekten, Denkmalschützern und Archäologen führten zu einer sehr fruchtbaren und konstruktiven Zusammenarbeit. Die photogrammetrische Dokumentation der prähistorischen Mumie vom Hauslabjoch („Ötzi“) ist eines der herausragenden Beispiele dafür. Auch die sehr gute Akzeptanz der einschlägigen Lehrveranstaltungen erlaubten die

zusätzliche Durchführung einer Vielzahl von kleineren und größeren Projekten im In- und Ausland. Die Teilnahme an internationalen Forschungsinitiativen [10] gestützte eigene Entwicklungen zu verifizieren und voranzutreiben.

Mit der Konzeption des „digitalen Projektors“ gelang es einerseits, ein vom Modell her streng digitales photogrammetrisches Werkzeug zu entwickeln und andererseits der Forderung nach einer objektorientierten, dreidimensionalen Rekonstruktion von Baudenkmalen Rechnung zu tragen.

Anders als bei herkömmlichen „Entzerrungen“ und „Umbildungen“ handelt es sich dabei um eine objektorientierte, dreidimensionale Rekonstruktion des gesamten Objekts, die voraussetzungslos und nahezu ohne Einschränkungen arbeitet. Die Methode basiert auf der Umkehrung der Aufnahmesituation. Der Vorgang selbst geschieht in 3 Phasen (Abb. 3): Im ersten Schritt wird die innere und äußere Orientierung der Aufnahmekamera sowie ein, den Anforderungen entsprechend detailliertes Liniengerüst der Bauwerksumrisse und markanten Flächenbegrenzungen bestimmt. Um eine möglichst homogene Lösung des Gesamtbauwerkes zu erzielen, werden diese Elemente mittels photogrammetrischer Bündelausgleichung [11] berechnet. Abgesehen davon ist eine Auswertung dieses Liniengerüsts auch am analytischen Plotter möglich. In einem weiteren Schritt wird innerhalb einer CAD-Umgebung das Liniengerüst überarbeitet und gegebenenfalls ergänzt, wobei auch zusätz-



Abb. 4: Perspektive Ansicht des Modells „Otto-Wagner-Pavillon Karlsplatz“

liche Messungen (Photos, Maßband, Theodolit, etc.) einfließen können. Das 3D-Modell wird anschließend durch Definition von Flächen zwischen den Strukturlinien geschlossen und durch Rendern auf etwaige verbliebene Lücken geprüft. Das so entstandene Flächenmodell des Objekts dient als „Projektionsfläche“ und kann dabei je nach Aufgabenstellung einen ganz verschieden hohen Detaillierungsgrad aufweisen. In der dritten Phase erfolgt die eigentliche Rückprojektion der Meßbilder [12].

Ähnlich wie mit einem digitalen Diaprojektor werden anschließend einige ausgesuchte Pho-

tos auf das erzeugte Flächenmodell rückprojiziert. Die Auswahl der Bilder geschieht nach Sichtbarkeit und Projektionswinkel auf die Flächen. Die „digitalen Projektoren“ besitzen dieselbe innere und äußere Orientierung wie die verwendeten Kameras, ihre Werte entstammen der Bündelausgleichung und können, wie im Falle der Selbstkalibrierung von Kameras, auch für jedes Bild verschieden sein.

Das Ergebnis ist ein vollständiges dreidimensionales Computermodell des Gebäudes (Abb. 4) oder sonstigen Objekts, von dem bei Bedarf beispielsweise Orthobilder einzelner Fassaden (Abb. 5), Schrägansichten (Abb. 6 und 7), bewegte Animationen oder interaktive Anwendungen erzeugt werden.

Der Ansatz dieser digitalen Methode ist so allgemein, daß nicht nur Anwendungen in der Architektur, sondern genauso archäologische Grabungsdokumentationen, medizinische oder forensische Anwendungen denkbar sind. Prinzipiell ist diese Methode auch nicht auf Nahbereichsanwendungen beschränkt. Luftbilddauswertungen mit Modellierung der Gebäude oder anderer Kunstbauten nach diesem Ansatz durchzuführen, scheint allerdings aufgrund der ohnehin bestehenden, auf diese nur 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>-dimensionalen Anwendungen zugeschnittenen Softwarelösungen nicht sinnvoll. Da die Rekonstruktion objektbezogen durchgeführt wird, ergeben sich keine Probleme bei der Kombination unterschiedlichster Bilder desselben Objekts. Die Einbindung



Abb. 5: Orthobild des Bahnhofgebäudes in Völs

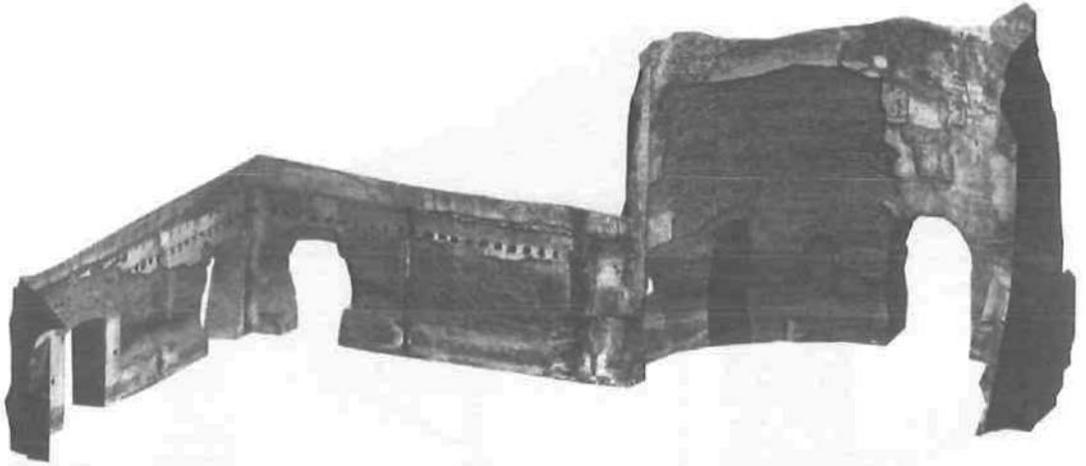


Abb. 6: Perspektivansicht des Computermodells „Caracalla Thermen Rom“

von Nahaufnahmen für interessante Details in höherer Auflösung oder gegenteilig, die Datenreduktion für benachbarte Objekte mit ausschließlichem „Umgebungscharakter“ in geringerer Auflösung der Projektion ist problemlos möglich und

zeigt die Flexibilität des Ansatzes. Ebenso einfach ist eine Kombination von Innen- und Außenschale eines Bauwerks. Ein Teil der „digitalen Projektoren“ wird im Innenraum situiert und projiziert die dort belichteten Aufnahmen auf die Innenwände; ein dementsprechendes Projekt ist derzeit in Ausarbeitung.

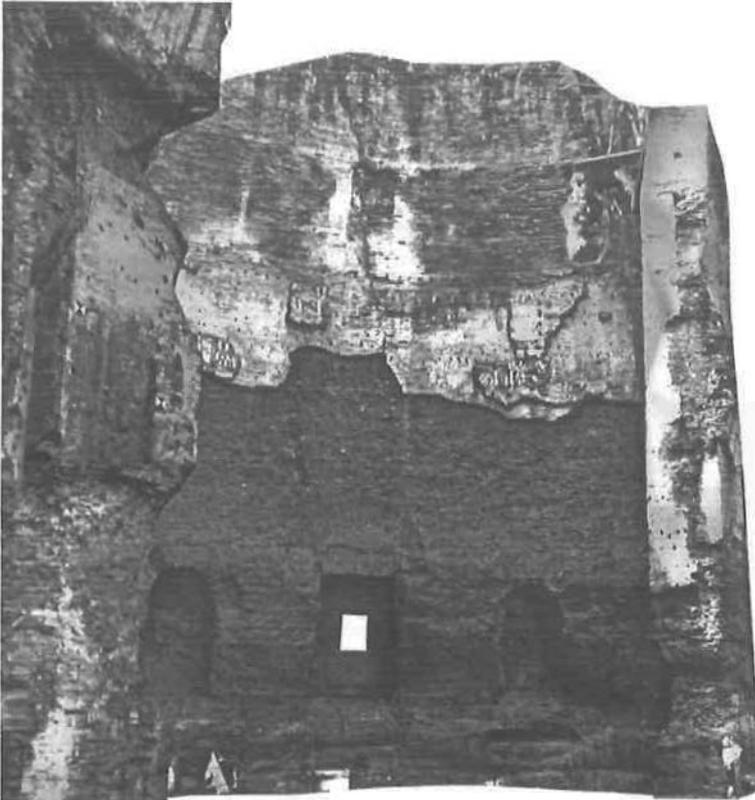


Abb. 7: 3D-Computermodell „Caracalla Thermen Rom“ aus der Sicht eines virtuellen Touristen

## 6. Ausblick

Ein grundsätzliches Umdenken in der Betrachtung der Ergebnisse einer Vermessung beginnt sich durchzusetzen. Diesem ist es zu verdanken, daß nicht mehr einzelne Pläne entstehen, sondern die erfaßten Daten im Sinne blattschnittfreier Datenstrukturen von Informationssystemen, ohne einschränkende Vorwegnahme der Datennutzung, verwaltet werden. Diesem Gedanken folgend werden auch in der Architektur bildmessung nicht mehr vorwiegend einzelnen Fassaden erfaßt und ausgewertet, sondern das Objekt als Ganzes steht im Zentrum des Interesses. Fassadenpläne, Ansichten, Abwicklungen oder Profile, all das sind nur abgeleitete Visualisierungen eines glo-

bal ausgewerteten und verwalteten Datenbestandes. Die Art der nachfolgenden Nutzung dieser Daten ist damit weitgehend noch nicht präjudiziert, die Darstellung (ob perspektivisch oder orthogonal, von welchem Punkt und aus welcher Richtung, im Detail oder Überblick) bleibt dem Nutzer der Daten überlassen. Die Verknüpfung der photogrammetrisch erfaßten, geometrischen Daten mit Sachdaten erlaubt die Einbindung z.B. in Gebäudeinformationssysteme. Die Verbindung mit digitalen Geländemodellen und geokodierten Luftbildern macht die Kombination eines Gebäudes mit dem umgebenden Gelände möglich. Der Übergang zum digitalen Stadtmodell ist „eine Frage des Maßstabs“ d.h. der Generalisierungsmöglichkeiten des Datenmodells.

Denkmalpfleger und Archäologen neigen ihrer Profession gemäß eher zur Beibehaltung bestehender und bewährter Verfahren. Die unübersehbaren Vorteile und Möglichkeiten digitaler Systeme und Ergebnisse werden aber sicher auch im Bereich Architekturbildmessung ein Umdenken bewirken. Virtuelle Welten werden heute bereits vom planenden Architekten zur Veranschaulichung von Projekten durch Animationen akzeptiert und gerne angewendet.

Ihr Siegeszug zur Dokumentation und Darstellung von bestehendem bzw. zur Rekonstruktion von bereits verlorenem Kulturgut in den Bereichen Denkmalschutz, Museen und archäologische Ausgrabungen etc. steht noch aus.

#### Dank

Die verwendeten Projekte wurden u.a. durch die Österr. Bundesregierung aus dem EH-Projekt 894/94, durch Studentenarbeiten im Rahmen der Lehrveranstaltung „Architekturbildmessung“ an der L.-F.-Universität Innsbruck, sowie durch Förderungsbeiträge der Österr. Industriellenvereinigung und der Raiffeisen-Zentralkasse Tirol ermöglicht.

#### Literatur

- [1] *Löberl, F.*, „Towards a New Photogrammetry?“. Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung, 60. Jahrgang, 1992, S 9 – 12.

- [2] *Waldhäusl, P.*, „Defining the Future of Architectural Photogrammetry“. Invited Paper. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXX, Part B5, Washington DC, 1992.
- [3] *Foranitti, H.*, „Bildmessung in der Denkmalpflege“. Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen, Heft 3, 1963.
- [4] *Vozikis, E.*, „Digitally Controlled Differential Rectification of Mathematically Defined Surfaces“. Photogrammetria, Vol. 38 (1983), S 165-180.
- [5] *Kraus, K.*, „Qualitätssteigerung photogrammetrischer Produkte mittels digitaler Bildverarbeitung“. Zeitschrift für Vermessungswesen, 118. Jahrgang, Heft 8/9, 1993 S 403-407.
- [6] *Hanke, K.*, „The Photo CD – A Source and Digital Memory for Photogrammetric Images“. Intercongress-Symposium of ISPRS-Commission V, Melbourne, Australia. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXX, Part 5, 1994.
- [7] *Hanke, K., Welndorf, Th.*, „Using the Photo CD as a Source and Digital Memory for Photogrammetric Images – A Report on its Data Compression Method and the Geometrical Stability of the Transferred Images“. Proceedings of the St. Petersburg – Great Lakes – Conference „Digital Imaging and Remote Sensing 95“, 25. – 30. Juni 1995, St. Petersburg, Rußland, GUS. SPIE-Publications, Series P, Vol. 2646, Washington DC, USA
- [8] *Forkert, G.*, „Photogrammetric Object Reconstruction Using Free-Formed Spatial Curves“. In: Gruen/Kahnen (Eds.) Optical 3D Measurement Techniques II, Wichmann Verlag, Karlsruhe, Zürich 1993. S 221-228.
- [9] *Strellein, A.*, „Videogrammetry and CAA for Architectural Restitution of Otto-Wagner-Pavillion in Vienna“. In: Grün/Kahnen (Eds.): Optical 3D-Measurement Techniques III, Vienna. Wichmann, 1995
- [10] *Waldhäusl, P.*, „A test object for architectural photogrammetry: Otto Wagner's Underground station „Karlsplatz“ in Vienna“. In: Proceedings of XIV. International Symposium of CIPA, Delphi, Greece, 1991
- [11] *Kager, H.*, „Das interaktive Programmsystem ORIENT im Einsatz“. In: International Archives of Photogrammetry, Hamburg, Volume XXIII Part 5, 1980.
- [12] *Hanke, K., Ebrahim, M. A.-S.*, „A General Approach for Object Oriented 3D-Mapping in Digital Close Range Restitution“. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXI, Part 25, ISPRS-Kongress Wien 1996.

#### Anschrift des Autors:

Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr.techn. Klaus Hanke, Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, Institut für Geodäsie, Technikerstraße 13, A-6020 Innsbruck, E-mail: Klaus.Hanke@uibk.ac.at