

Photogrammetrische Low-Cost-Systeme

STEPHAN ZINNDORF, Diepoldsau

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

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

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

1 Einleitung

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

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

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

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

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

2 Konzeption und Entwicklung kostengünstiger photogrammetrischer Auswertesysteme

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

2.1 Kamera

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



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

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

2.2 Personal Computer

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

2.3 Bildmessung

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

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

2.4 Auswertesoftware

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

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

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

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

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

2.5 Anbindung an CAD-Software

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

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

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

3 Anwendungsbeispiele

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

3.1 Architekturphotogrammetrie

Zu diesem Bereich gehören die Gebäudebestandsaufnahme, Fassadenvermessung,

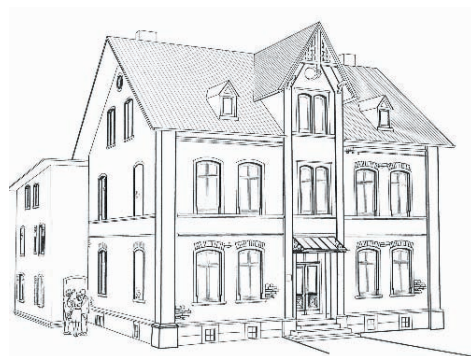


Abb. 2: Gebäudebestandsaufnahme, isometrische Darstellung.

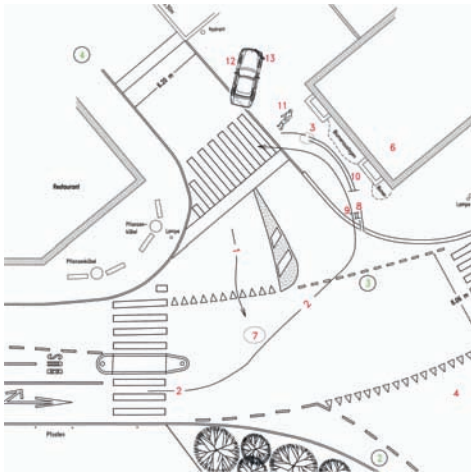


Abb. 3: Ausschnitt aus einer Verkehrsunfallauswertung.

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

3.2 Forensische Anwendungen (Verkehrsunfallaufnahme, Tatortvermessung)

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

3.3 Sonderanwendungen

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

4 Entwicklungstendenzen

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

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

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

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

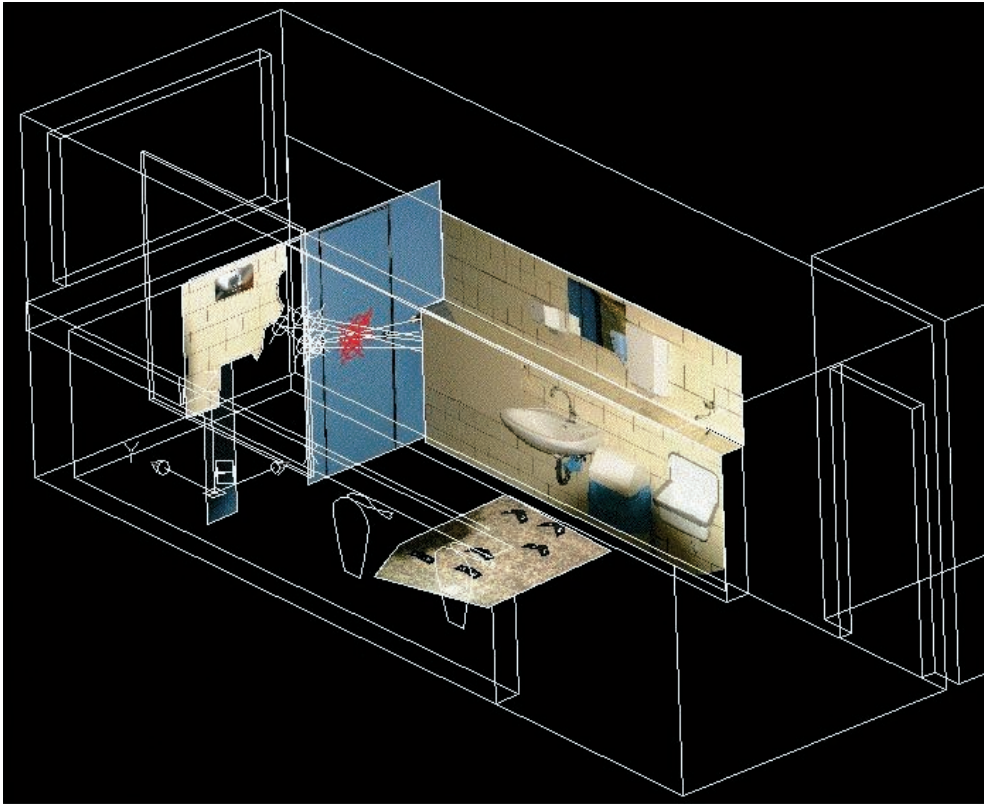


Abb. 4: Tachymetrisch aufgenommener Innenraum mit einmontierten entzerrten Bildteilen.

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

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

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

Literatur

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



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

- FELLBAUM, M., 1992: Low-Cost Surveying Systems in Architectural Photogrammetry – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. **24/B5**: 771–777.
- LUHMANN, T. (Hrsg.), 2002: Nahbereichsphotogrammetrie in der Praxis. – 318 S., Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg.
- WESTER-EBBINGHAUS, W., 1981: Zur Verfahrensentwicklung in der Nahbereichsphotogrammetrie. – Dissertation, Universität Bonn.
- WESTER-EBBINGHAUS, W., 1983: Einzelstandpunkt-Selbstkalibrierung – Ein Beitrag zur Feldkalibrierung von Aufnahmekammern. – Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Nr. **289**, München.
- WESTER-EBBINGHAUS, W., 1985: Verfahren zur Feldkalibrierung von photogrammetrischen Aufnahmekammern im Nahbereich. – Deut-

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

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

Anschrift des Autors:

Dr.-Ing. STEPHAN ZINNDORF
 Bienenstrasse 22
 CH-9444 Diepoldsau
 Tel.: +41 71 7300310, Fax: +41 71 7300311
 e-mail: sz@szvermessung.ch

Manuskript eingereicht: September 2003
 Angenommen: Oktober 2003