

DIGITALE BILDENTZERRUNGEN UND -ABWICKLUNGEN FÜR DIE ANWENDUNG IN DENKMALPFLEGE, BAUFORSCHUNG UND RESTAURIERUNG¹

Matthias Hemmleb – Gunnar Siedler – Gisbert Sacher



Abb. 1: Freyburg a.d. Unstrut, Neuenburg, (Kartierungsgrundlage für die Bauforschung), links: Ausgangsbild, rechts: Digitale Bildentzerrung mit den für die Entzerrung verwendeten Passpunkten, Originalmaßstab 1:50

Photogrammetrische Bildentzerrungstechniken und die Bereitstellung von maßstäblichen Bildplänen dienen als Grundlage für die Bestandsaufnahme und Dokumentation in Denkmalpflege und Bauforschung. Mit der Anwendung digitaler Entzerrungssoftware gestaltet sich die Herstellung und Weiterverwendung von maßstäblichen Bildplänen qualitativ hochwertiger und effektiver. Neben den klassischen Verfahren und Techniken bieten digitale Techniken außerdem völlig neue Anwendungsmöglichkeiten, wie die Abwicklung von gewölbten Objektoberflächen oder die Erstellung von dreidimensionalen Fotomodellen. Prinzipiell lassen sich auch historische Aufnahmen verwenden und liefern somit wertvolle maßstäbliche Informationen über zerstörte Bauwerke oder Bauwerksteile. In diesem Artikel werden die für Bauaufnahme und Bestandsdokumentation relevanten photogrammetrischen Entzerrungstechniken anhand von Beispielen erläutert und neue Anwendungsmöglichkeiten bis hin zu 3-D-Fotomodellen aufgezeigt.

Die schnelle Entwicklung von Hard- und Software

in den letzten Jahren ermöglicht heute im Bereich der Bestandsaufnahme und Dokumentation in zunehmendem Maße die Unterstützung und teilweise Ablösung traditioneller Arbeitstechniken durch Methoden der digitalen Photogrammetrie. Das trifft auch auf die photogrammetrische Auswertung digitaler Bilder mit Entzerrungstechniken zu. Durch die damit verbundene Anwendung digitaler Bildverarbeitungsmethoden erschließen sich für die maßstabgerechte Entzerrung von Messbildern und Amateuraufnahmen neue Anwendungsmöglichkeiten, die mit einem wesentlich geringeren Arbeitsaufwand einhergehen.

Bevorzugte Anwendungsfälle für die projektive Entzerrung sind Objekte mit ebenen Oberflächen, wie ein-

¹ Die Autoren danken Herrn Dipl.-Ing. (FH) Dirk Kinne (AV Grafikstudio Leipzig) für die Konstruktion und die Berechnung der Ansichten des 3-D-Photomodells von Schloss Plötzkau. Die dazu verwendeten entzerrten Messbilder stammen ebenso wie alle anderen Bildbeispiele aus bearbeiteten Projekten der Fokus GmbH Leipzig.



Abb. 2: Kloster Michaelstein, nördlicher Kreuzgang, digitaler Bildplan, Originalmaßstab 1:50, Einarbeitung eines einheitlichen Lage- und Höhensystems (Grundlage für die Sanierungsplanung und die Kartierung der Befunde), oben: nördlicher Kreuzgang, Außenseite (Montage aus sechs entzerrten Einzelbildern), unten: nördlicher Kreuzgang, Innenseite (Montage aus sechs entzerrten Einzelbildern)

fach gegliederte und schmuckarme Fassaden, Mauerwerk, Fußböden, Wand- und Deckenmalereien. Als Ergebnis liegen hochgenaue und detaillierte Bildpläne vor, welche als Grundlage für weitere Arbeiten oder zur Archivierung bereitstehen. Durch den Einsatz digitaler Bearbeitungsmethoden lassen sich im Gegensatz zu den klassischen Verfahren der optisch-mechanischen Bildentzerrung auch unter ungünstigen Aufnahmebedingungen sehr gute Ergebnisse erzielen. Unter bestimmten Voraussetzungen können auch historische Fotografien entzerrt und ausgewertet werden. Dadurch gelingt es, wertvolle maßstäbliche Informationen für die Erforschung, Sanierung und Rekonstruktion historischer Bausubstanz bereitzustellen.

Neben der projektiven Entzerrung, die für die Auswertung ebener Flächen angewandt wird, können auch gekrümmte Oberflächen entzerrt und maßstabsgerecht abgewickelt werden. Dazu muss das betreffende Bauwerksteil vermessen und in einer mathematisch beschreibbaren Form erfasst werden. Handelt es sich bei dieser um eine einseitig gekrümmte Fläche (Zylinder oder Kegel), wird die maßstabsgerechte fotografische Abwicklung mit einer parametrischen Entzerrung durchgeführt. Anderenfalls (z.B. bei der Beschreibung einer kugelförmigen Fläche) ist zusätzlich eine Projektionsvorschrift zu wählen, nach der die Abbildung in einer Ebene erfolgen soll. Als Ergebnis liegt in allen Fällen ein maßstabsgerechter Bildplan vor, der den aktuellen Zustand des Objektes fotografisch dokumentiert und gleichzeitig das genaue Messen im digitalen Bild erlaubt.

Die weitere Verwendung der Bildpläne kann sehr vielfältig sein. Bei Bauforschung und Restaurierung dienen die Bildpläne der fotografischen Zustandsdokumentation und als maßstabsgerechte Kartierungsgrund-

lage für die Bestandsaufnahme. Das einfache Messen von ausgewählten Längenmaßen und die Ermittlung von Flächen am PC unterstützt die Arbeit von Planungsbüros und Handwerksbetrieben bei der Mengenermittlung. Wenn es erforderlich ist, kann der Bildplan maßstabsgerecht im CAD-System hinterlegt und graphisch ausgewertet werden. Variantenuntersuchungen (Farbentwürfe und Umbaumaßnahmen) können mit Bildverarbeitungssoftware wirklichkeitsgetreu präsentiert werden.

Neben der oben genannten Verwendung der maßstäblich entzerrten Bildpläne und Abwicklungen können diese auch für die Erstellung von 3-D-Fotomodellen benutzt werden. Das Fotomodell dient einerseits der anschaulicheren Darstellung eines Bauwerks, andererseits lässt sich damit auch die Vielzahl der entzerrten Messbilder zusammen mit Plänen und weiteren Informationen zu den einzelnen Fassadenteilen erfassen und zu einem Informationssystem ausbauen.

PROJEKTIVE BILDENTZERRUNG UND MONTAGE ZU MASSSTÄBLICHEN BILDPLÄNEN

Einzelbildentzerrungen von ebenen Objekten werden bereits seit einiger Zeit als eine Methode für die Baubestandsaufnahme verwendet. Sie basieren auf den mathematischen Beziehungen zwischen der aufgenommenen Objektebene und deren fotografischer Abbildung in die Bildebene. Bei der Entzerrung wird durch die Umkehrung des Aufnahmevorgangs die Bildebene in eine maßstäblich verkleinerte Objektebene abgebildet. Dieser Vorgang wird durch eine projektive Transformation beschrieben [REGENSBURGER, 1990]. Die für die Transformation benötigten Koeffizienten sind vorab mit Hilfe von Referenzinformationen zu berechnen. In



Abb. 3: Halle a.d. Saale, Moritzburg, West-Turm (Ergänzung zur graphischen Stereomessbildauswertung für die Bauforschung), links: Ausgangsbild, gescannt mit Kodak PhotoCD Pro (Auflösung: 4096 x 6144 Pixel), rechts: Bildplan der digitalen Abwicklung im Maßstab 1:50 (Montage aus sieben abgewickelten Aufnahmen, Umfang ca. 270°)

erster Linie werden dazu Passpunkte verwendet. Mindestens vier Passpunkte sind für die Berechnung der Koeffizienten nötig. Um die Genauigkeit des entzerrten Messbilds und evtl. vorhandene Fehler in den Messungen zu ermitteln, sollten aber besser mehr als vier Passpunkte verwendet werden. In diesem Fall erfolgt die Berechnung der Transformationsparameter ausgleichend, wodurch die Bestimmung statistischer Kenngrößen möglich wird.

Die Passpunktvermessung erfolgt vor Ort am besten mit einem elektronischen reflektorlosen Tachymeter anhand von gut definierten baulichen Details, oder – um eine höhere Genauigkeit zu erzielen – mit an der Fassade angebrachten Passpunktmarkierungen. Es genügt aber auch ein einfacher Theodolit oder gegebenenfalls ein elektronischer Distanzmesser, aus deren Messungen die Koordinaten der Passpunkte berechnet werden können. Die Referenzinformation kann auch durch die Messung von Fluchtlinien im Bild in Verbindung mit horizontalen und vertikalen Passstrecken gewonnen werden. In diesem Fall entfällt die aufwändigere geodätische Passpunktmessung, dafür lässt sich aber auch nicht die Genauigkeit erreichen, welche bei der Verwendung von Passpunkten möglich ist.

Wenn bei größeren Objekten die Passpunkte in einem einheitlichen Koordinatensystem gemessen werden, lassen sich beliebig viele Teilbilder über den gemeinsamen Koordinatenbezug zu großen Bildplänen montieren. Je nach Bedarf können im digitalen Bildplan Gitterkreuze zur Kennzeichnung des für die Bestandsaufnahme vor Ort verwendeten Lage- und Höhensystems eingearbeitet werden. Dadurch wird ein übergreifendes Arbeiten im objektbezogenen Aufmaßsystem möglich.

Bei Anwendung der projektiven Entzerrung ist zu berücksichtigen, dass die Genauigkeit des entzerrten Messbilds immer von der Ebenheit des Aufnahmeob-

jekts abhängig ist. Übersteigen die aus den Abweichungen von der Bezugsebene resultierenden Fehler die geforderte Genauigkeit, müssen diese in Form eines Höhenmodells bei der Entzerrung berücksichtigt werden. Das Ergebnis ist in diesem Fall ein Orthophoto, für dessen Herstellung die Objektoberfläche präzise räumlich erfasst werden muss. Wegen des damit verbundenen hohen Vermessungsaufwands entfällt einer der wesentlichen Vorteile der Entzerrung: die effektive und schnelle Bearbeitung und damit einhergehend die kostengünstige Bereitstellung von maßlichen Informationen.

NEUE ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN DURCH ABWICKLUNGEN

Zahlreiche bauliche Elemente und architektonische Details können nicht durch ebene Flächen beschrieben werden. Durch die Verbindung analytischer photogrammetrischer Verfahren mit Methoden der digitalen Bildverarbeitung sind in diesem Fall oftmals weitergehende Lösungen möglich. Einen besonderen Raum nehmen dabei die Abwicklungen verschiedenartig gewölbter Objektoberflächen ein [HEMMLEB, WIEDEMANN, 1997].

Lässt sich eine einfach gekrümmte Fläche durch einen mathematischen Körper beschreiben, besteht die Möglichkeit, die Oberfläche dieses Körpers maßstabsgerecht abzuwickeln. Als Bezugsfläche für eine Abwicklung kommen vor allem ein Zylinder, in selteneren Fällen ein Kegel in Frage. Dabei lassen sich auch verschiedene Radien berücksichtigen. In einem solchen Fall muss allerdings entschieden werden, ob alle ringförmigen Flächensegmente einen einheitlichen Maßstab erhalten oder eine orthogonale Projektion auf einen festzulegenden mittleren Zylinder erfolgen soll. Neben der maßstabsgetreuen Abwicklung von Türmen bietet sich das Verfahren auch für



Abb. 4: Gernrode, Stiftskirche St. Cyriakus, Westapsis (Grundlage für die Schadenskartierung für die Restaurierung), oben: Ausgangsbild, gescannt mit Kodak PhotoCD Pro (Auflösung: 4096 x 6144 Pixel), unten: Bildplan der digitalen Abwicklung im Maßstab 1:20 (Montage aus sieben abgewickelten Farbaufnahmen, s. Farbtafel VI, 1)

Innenabwicklungen von Tonnengewölben oder Apsiden an.

Die Abwicklung von gekrümmten Oberflächen basiert auf den Abbildungsgleichungen der Zentralprojektion, welche den Verlauf der Bildstrahlen modellieren [REGENSBURGER, 1990]. Sind die geometrischen Eigenschaften der Kamera (innere Orientierung) und die Position und Aufnahmerichtung der Kamera im Raum (äußere Orientierung) einerseits und die räumliche Lage und Gestalt der Objektoberfläche andererseits bekannt, lässt sich jeder das Objekt betreffende Bildstrahl mit diesem schneiden und bis ins Bild zurückverfolgen. Je nach gewählter Projektionsvorschrift – im Falle eines Zylinders oder Kegels ist dies eine Abwicklung – kann die Objektoberfläche somit in der Ebene dargestellt werden.

Die für eine Abwicklung notwendigen vermessungstechnischen Arbeiten vor Ort sowie die darauf basierende Verarbeitung der Bild- und Messdaten erfordern einen wesentlich größeren Aufwand als bei der projektiven Bildentzerrung. Die Bestimmung der Orientie-

rungsparameter der Kamera erfolgt auch in diesem Fall mit Hilfe von Passpunkten. Die Berechnung auf der Basis der Abbildungsgleichungen der Zentralprojektion wird mit einem photogrammetrischen Rückwärtsschnitt vorgenommen. Wird für die Aufnahme keine Messkamera verwendet, sind die inneren Orientierungsparameter der Kamera bei der Berechnung mit zu bestimmen. Daher ist bei der Auswahl der Passpunkte große Sorgfalt anzuwenden und auf eine ausreichende räumliche Verteilung zu achten. Die für die Beschreibung der Objektoberfläche benötigten Parameter werden aus Schnittprofilen berechnet, die neben den Passpunkten bei den örtlichen Vermessungsarbeiten zu erfassen sind. Für einen Zylinder sind dies die Lage, der Radius und der interessierende Höhenbereich, beim Kegel zusätzlich der Öffnungswinkel.

Besitzt das zu bearbeitende Objekt eine doppelt gekrümmte Oberfläche, ist eine direkte Verebnung nicht möglich. Das trifft unter anderem für die Erfassung von Wandmalereien in Kuppeln zu. In diesem Fall muss über eine geeignete Projektionsfläche und die damit ver-



Abb. 5: Leipzig, Völkerschlachtdenkmal, Kuppelhalle (Grundlage für die Vorplanung und die Schadensdokumentation), links: Ausgangsbild, gescannt mit Kodak PhotoCD Pro (Auflösung 4096 x 6144 Pixel), rechts: Bildplan der Zylinderprojektion, Originalmaßstab 1:50 mit Angabe der Profillinie



Abb. 6: Wittenberg, Lutherhalle, digitale Entzerrung eines historischen Messbildes, Originalmaßstab 1:50

bundene Projektionsvorschrift entschieden werden. Für planerische Zwecke bietet sich die orthogonale Projektion auf einen mittleren Zylinder an. Dabei entsteht eine höhengerechte Darstellung, die im Detail aber nicht flächentreu ist. Um die Maßstabsunterschiede zu berücksichtigen, kann in einem Diagramm für jede Höhe ein Maßstabskorrekturfaktor angegeben werden, der unter Berücksichtigung des gemessenen Profils berechnet wird.

Für eine flächentreue Darstellung von kugelförmigen Oberflächen (z.B. für die Erfassung von Kuppelmalereien) lassen sich kartographische Projektionen verwenden. Um die Objektfläche sinnvoll in die Ebene zu projizieren, muss in Abhängigkeit von der jeweiligen Aufgabenstellung und der Lage der auszuwertenden Fläche eine geeignete Projektionsart gewählt werden. Dafür kommen beispielsweise die abstandstreue azimu-

tale Abbildung, die abstandstreue zylindrische Abbildung (Quadratische Plattkarte) oder der abstandstreue Zylinderentwurf mit längentreuem Äquator in transversaler Lage (Segmentstreifen) in Frage. Ein besonderer Anwendungsfall für diese Vorgehensweise ist die Abbildung und der Vergleich kartographischer Darstellungen von historischen Globen [SACHER et al., 1999].

BESONDERHEITEN BEI DER AUSWERTUNG HISTORISCHER MESSBILDER

Historische Bilder sind heute oftmals die wichtigsten Unterlagen von Gebäuden und Denkmälern, die im Laufe der Zeit zerstört oder verändert wurden. Existiert eine Fotografie in ausreichender Qualität, ist unter Umständen eine maßlich exakte Erarbeitung von Fassadenansichten auf der Basis einer projektiven Bildentzerrung möglich [HEMMLEB, 1999]. Welche Genauig-

keit sich dabei erreichen lässt, hängt von zahlreichen Faktoren, insbesondere aber von der Existenz von Referenzmaßen ab.

Ist das Gebäude oder ein Teil davon noch vorhanden, so kann der Maßstabsbezug durch nachträglich gemessene Passpunkte hergestellt werden. Dabei ist darauf zu achten, dass die Passpunkte sowohl im historischen Bild als auch am Objekt gut identifizierbar und im Laufe der Zeit unverändert geblieben sind. Dazu zählen meist Tür- oder Fenstereinfassungen. Bei der Berechnung der Koeffizienten für die projektive Entzerrung sind möglichst viele Passpunkte zu verwenden, da mit Hilfe der statistischen Kenngrößen Lagefehler der als Passpunkte verwendeten Fassadendetails aufgedeckt werden können, die durch geringfügige bauliche Veränderungen (beispielsweise bei einer Sanierung des Bauwerks) entstanden sind. In zahlreichen Fällen ist jedoch das Bauwerk stark zerstört oder nicht mehr vorhanden. Dann sollte zunächst geprüft werden, ob eventuell abgebildete benachbarte Gebäude noch existieren und sich für die Passpunktmessung verwenden lassen. Außerdem ist gezielt nach historischen Bauunterlagen oder Aufmaßplänen zu recherchieren, die gegebenenfalls als Referenz verwendet werden können. Teilweise lassen sich auch Grundrissmaße aus alten Vermessungsrissen entnehmen. Wie oben erläutert, können bei zerstörten Bauwerken durch eine Redundanz der Passinformationen die im historischen Planmaterial häufig vorhandenen Fehler aufgefunden und eliminiert werden.

Sind keine Passinformationen vorhanden, bleiben für die Ableitung der Transformationsbeziehungen bei der Entzerrung allein geometrische Bedingungen. Diese können einerseits vom Objekt selbst ausgehen oder bei der Aufnahme eingehalten worden sein. So kann der Umstand ausgenutzt werden, dass zahlreiche Bauten mehrere parallele horizontale und vertikale Elemente (z.B. Gesimse oder Risalite) aufweisen, die eine Konstruktion der Bildgeometrie auf der Basis von Fluchtpunkten ermöglichen [BRÄUER-BURCHARDT, et al., 1999]. Daneben können wir bei einigen Bildern, wie beispielsweise aus dem Meydenbauer-Archiv beim Brandenburgischen Landesamt für Denkmalpflege, davon ausgehen, dass die Kamera bei der Aufnahme horizontalisiert war. In diesem Fall hängt die Genauigkeit selbstverständlich unmittelbar von der Korrektheit der Horizontierung bzw. von der Exaktheit der Bauausführung ab.

Bei der Entzerrung historischer Bilder ist zu berücksichtigen, dass es sich oft um Bilder handelt, die mit einfachen Kameras aufgenommen wurden. Die schlechte Auflösung führt zu einer erschwerten Messung architektonischer Details, der vorhandene Film- bzw. Papierverzug bringt zusätzlich Genauigkeitsverluste. Eine Ausnahme bilden vor allem die Bilder aus dem bereits oben erwähnten Meydenbauer-Archiv [MEYER, 1985; KOPPE, 1997]. Albrecht Meydenbauer, der als der Begründer der Architekturphotogrammetrie

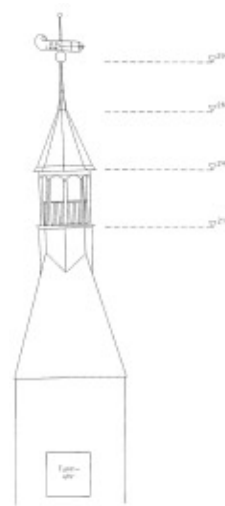
gilt, hat seit der Gründung der Königlich Preußischen Meßbildanstalt in Berlin 1885 über 20000 Messbildaufnahmen von Denkmälern und historischer Bausubstanz angefertigt und archiviert. Die großformatigen



a) historisches Foto



b) vor der Rekonstruktion



c) rekonstruierte Ansicht



d) nach der Rekonstruktion

Abb. 7: Roitzsch, Kirche: a) Historisches Foto, ursprünglicher Zustand des Turmes mit Dachreiter, b) Aufnahme vor der Rekonstruktion (1996), c) Graphische Rekonstruktion im Maßstab 1:50 (für die Tragwerksplanung), d) Aufnahme nach der Rekonstruktion (1998)

Glasnegative (im Wesentlichen mit einer Größe von 40 cm x 40 cm) besitzen eine hohe fotografische und geometrische Qualität und sind daher trotz der verloren gegangenen Unterlagen zu den Kameras und den Aufnahmesituationen für eine Bildentzerrung in den meisten Fällen hervorragend geeignet.

Liegen von dem betreffenden Objekt mehrere historische Bilder vor, kann unter Umständen auch eine Mehrbildauswertung auf der Basis einer Bündelausgleichung erfolgen. Wegen der dafür erforderlichen speziellen Aufnahmekonfiguration und den hohen Anforderungen an die radiometrische und geometrische Qualität des Bildmaterials muss in jedem Fall vor Beginn der Arbei-



Abb. 8: Kapellendorf, Wasserburg, links: Überlagerung des digital entzerrten Messbildes des heutigen Zustandes mit CAD-Daten für die Rekonstruktion, rechts: Digitale Visualisierung für die Wiederherstellung des ursprünglichen Zustandes (s. Farbtafel VI, 2)



Abb. 9: Plötzkau, Schloss, links: Gesamtansicht des 3-D-Fotomodells (derzeitiger Bearbeitungsstand), rechts: Detailansicht des 3-D-Fotomodells (s. Farbtafel VI, 3)

ten zunächst die Machbarkeit einer photogrammetrischen Mehrbildauswertung für das jeweilige Objekt untersucht werden. Sind alle Voraussetzungen erfüllt, liefert die Auswertung wertvolle maßliche Informationen, die über die Möglichkeiten einer Bildentzerrung hinausgehen. So können Profile, Schnitte, Detail- und Gesamthöhen von Bauwerken ermittelt werden.

MASSTABSGERECHTE BESTANDSDOKUMENTATION UND RÄUMLICHE VISUALISIERUNG MIT 3-D-FOTOMODELLEN

Visualisierungen auf der Basis von Messbildern ermöglichen eine bessere Veranschaulichung von Sanierungs- oder Rekonstruktionsvorhaben im Bereich der Denkmalpflege und können damit eine wichtige Planungs- und Entscheidungshilfe sein. Die Verwendung von Messbildern bietet den Vorteil, das betreffende Bauwerk wirklichkeitsgetreu darzustellen. Wird dazu historisches Bildmaterial verwendet, lässt sich auch der Zustand zum Zeitpunkt der jeweiligen Aufnahmen darstellen [HEMMLEB, 1999]. In Abhängigkeit von der Auf-

gabenstellung kommen für eine Visualisierung verschiedene Vorgehensweisen zur Anwendung.

Im einfachsten Fall können z.B. für Umbaumaßnahmen verschiedene Entwürfe oder der historische Zustand durch Bildmontagen, Überlagerungen und Farbwürfe im entzerrten Messbild visualisiert werden. Für die Rekonstruktion zerstörter Gebäudeteile oder ganzer Bauwerke ist eine Visualisierung in der heutigen Umgebung von Vorteil. Dazu lassen sich historische Bilder verwenden, von denen jeweils der Aufnahmestandpunkt photogrammetrisch ermittelt wird. Nach der Aufnahme der aktuellen Situation vom selben Standpunkt ist das Einfügen der historischen Bauwerksansicht in das Bild des heutigen Umfelds möglich.

Wesentlich mehr Möglichkeiten bietet ein 3-D-Fotomodell. Für eine Visualisierung können Ansichten des Fotomodells für ausgewählte Aufnahmen der Örtlichkeit berechnet und in diese eingefügt werden. Voraussetzung für ein 3-D-Fotomodell ist die Erstellung eines 3-D-CAD-Modells des betreffenden Objekts, das sich aus denjenigen Fassadenebenen zusammensetzt, welche als

Bezugsebenen für die einzelnen Entzerrungen dienen. Die darauf projizierten Entzerrungen ermöglichen eine fotorealistische Ansicht des Objekts. Um so detaillierter dabei das 3-D-Fotomodell ist, um so realistischer erscheint die daraus abgeleitete Visualisierung; im gleichen Maße steigt aber auch der Aufwand bei der Bearbeitung. Werden für die Entzerrungen historische Bild-daten benutzt, ist eine Visualisierung jenes Zustandes möglich, der zur Zeit der Aufnahme dieser Bilder vorlag. Als Datenstruktur verwendet man am einfachsten VRML, welches neben seiner Übersichtlichkeit den Vorteil bietet, dass das 3-D-Modell jederzeit mit einem entsprechenden Viewer dreidimensional von beliebigen Richtungen aus betrachtet werden kann. Ein weiterer Vorteil besteht in der Möglichkeit, einzelne Modelloberflächen mit Metainformationen zu verbinden. Somit kann das Fotomodell auch zur Navigation in einer raumbezogenen Datenbank dienen, indem die Modelloberflächen jeweils auf weiterführende Informationen, z.B. Befunde und letztendlich auch auf die maßstabsgerecht entzerrten Messbilder verweisen.

BILDAUFNAHME UND -AUSWERTUNG: KLASSISCHE UND NEUE TECHNIK

Durch die enormen Entwicklungen auf dem Gebiet der Computerhardware und der damit verbundenen Peripherie ist die Bereitstellung und Bearbeitung digitaler Bild-daten für die Entzerrung und Auswertung ohne größeren Aufwand realisierbar. Für die Bildaufnahme kommen allerdings wegen der hohen Qualitätsansprüche nach wie vor professionelle Mittel- oder Großformat-Kameras zum Einsatz. Handelsübliche Digitalkameras bieten derzeit noch keine ausreichend hohe Auflösung und sind im besten Fall mit analogen Kleinbildkameras zu vergleichen.

Zum Digitalisieren der Bilder empfiehlt sich das Kodak PhotoCD-Verfahren. Die geometrische und radiometrische Qualität dieses Verfahrens ist auch unter photogrammetrischen Gesichtspunkten untersucht worden [HANKE, 1994]. Speziell für größere Formate und höhere Auflösungen wird das Kodak Photo-CD Pro Verfahren angeboten. Bei der Verwendung der Bilder für Abwicklungen bietet sich wegen der notwendigen Bestimmung der Orientierungsparameter die Nutzung einer Messkamera oder Teilmesskamera an. Bei der Verwendung einer solchen ist die innere Orientierung der Kamera aus einer Kalibrierung bekannt. Durch die dann ausschließlich notwendige äußere Orientierung der Aufnahme vereinfacht sich die Passpunktmessung, bei einer ungünstigen Aufnahmeconfiguration lässt sich somit eine höhere Genauigkeit der Abwicklung erzielen.

Historische Fotografien müssen mit einem Flachbettscanner digitalisiert werden, bei der Verwendung von Film- oder Glasnegativen ist eine Durchlichtoption erforderlich. Eine Überprüfung der geometrischen Stabilität des Scanners ist von Vorteil; dazu ver-

wendet man eine geeichte Gitterplatte mit bekannten Sollmaßen. Um eine höhere Genauigkeit zu erreichen, kann unter Umständen auch zunächst eine fotografische Kopie der Vorlage auf Film vorgenommen werden, die anschließend mit einem photogrammetrischen Luftbildscanner mit hoher Auflösung digitalisiert wird.

Die eigentliche Entzerrung, Bearbeitung und Auswertung der Messbilder erfolgt an einem Standard-PC mit speziell für die Belange des Fassadenaufmaßes entwickelter photogrammetrischer Software. Damit ist die Bildentzerrung und -auswertung auch für den Anwender ohne photogrammetrische Grundkenntnisse möglich. Bei der Softwareauswahl ist darauf zu achten, dass die erhaltenen maßstabsgerechten Bildpläne ohne Verlust ihrer metrischen Informationen (Maßstab, Auflösung, Raumbezug) an eine CAD- oder Kartierungssoftware für die weitere Bearbeitung und Auswertung übergeben werden können.

Sowohl die Abwicklung gekrümmter Oberflächen, als auch die Auswertung historischer Messbilder bleibt spezialisierten photogrammetrischen Dienstleistern oder entsprechenden Fachinstitutionen vorbehalten. Die Ursache dafür liegt in den hohen fachlichen Anforderungen an derartige Aufgabenstellungen, die wegen ihrer Komplexität keine einfachen Lösungen zulassen.

Bei der Druckausgabe der Bildpläne und den damit verbundenen Auswertungen ist auf eine fotografische Qualität zu achten. Fotodrucker auf der Basis von Tintenstrahltechniken bieten hohe Auflösungen, die einer Fotografie nicht nachstehen. Im Falle einer Dokumentation, die einer Archivierung zugeführt werden soll, ist aber in jedem Fall eine Belichtung auf Filmmaterial notwendig. Unabhängig davon können alle Bilddaten und Auswertungen z.B. auf CD-ROM digital gespeichert werden und stehen damit jederzeit für eine erneute Ausgabe oder eine Weiterbearbeitung zur Verfügung. Zur Frage der Tauglichkeit einer digitalen Speicherung für Archivierungszwecke sei auf die Literatur verwiesen [GSCHWIND, et al., 1997].

AUSBLICK

Verschiedene photogrammetrische Bildverarbeitungstechniken stehen für die Herstellung von maßstäblichen Bildplänen derzeit zur Verfügung. Dabei können einfache Methoden, wie die ebene Einzelbildentzerrung, mit anwendungsbezogener und nutzerfreundlicher Software durchaus von Architekten, Bauforschern oder Restauratoren selbst angewandt werden. Die Dokumentation und Vermessung umfangreicherer Projekte sollte wegen der Komplexität der anzuwendenden Technologien, wegen der hohen Ansprüche an die Genauigkeit der zu erstellenden Planunterlagen und wegen der hohen Anforderungen an die Qualität der Bilddaten von einem photogrammetrischen Dienstleistungsunternehmen oder einer anderen qualifizierten Einrichtung übernommen werden. Maßstäbliche Bildpläne und

Abwicklungen als Grundlage für die Bestandsaufnahme und Dokumentation in Denkmalpflege, Bauforschung und Restaurierung sind in diesem Fall eine günstige Schnittstelle zwischen Vermessung, Planung und Forschung. In diesem Zusammenhang wird auch dem Austausch digitaler Daten und den damit verbundenen neuen Technologien zukünftig eine größere Bedeutung zukommen und einen Beitrag zur engeren Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Fachdisziplinen leisten.

Anschrift: Dipl.-Ing. Matthias Hemmleb, Dipl.-Ing. Gunnar Siedler, Dipl.-Ing. Gisbert Sacher, Fokus Gesellschaft für Bauvermessung, Photogrammetrie und Bildverarbeitung mbH Leipzig, Gustav-Adolf-Str.12, D-04105 Leipzig, E-Mail: home@Fokus-GmbH-Leipzig.de

Abbildungsnachweis: Abb. 1-9: Verf.

Literatur:

BRÄUER-BURCHARDT, C., VOSS, K. (1999): Monokulare Rekonstruktion unter Orthogonalitätsvoraussetzungen. 21. DAGM Symposium Mustererkennung, Springer Verlag, S. 197-204.
 GSCHWIND, R., GÜNZL, A. (1997): Was bleibt ist das Umkopieren – Ein digitales Langzeitarchiv für Fotosamm-

lungen. Rundbrief Fotografie, Sonderheft Nr. 3, S. 27-30.

HANKE, K. (1994): The PhotoCD - A source and Digital Memory for Photogrammetric Images. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXX, Part 5, Melbourne.

HEMMLEB, M., WIEDEMANN, A. (1997): Digital Rectification and Generation of Orthoimages in Architectural Photogrammetry. CIPA International Symposium 1997, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXII, Part 5C1B, Göteborg, S. 261-267.

HEMMLEB, M. (1999): Digital Rectification of Historical Images. CIPA International Symposium, Olinda (im Druck).

KOPPE, R. (1996): Zur Geschichte und zum gegenwärtigen Stand des Meßbildarchivs. In: Architekturphotogrammetrie gestern - heute - morgen. Hrsg.: Albertz, J. und Wiedemann, A., TU Berlin, S. 41-57.

MEYER, R. (HRSG.) (1985): Meydenbauer – Baukunst in historischen Fotografien. Fotokinoverlag Leipzig, 1. Auflage.

REGENSBURGER, K. (1990): Photogrammetrie - Anwendungen in Wissenschaft und Technik, Verlag für Bauwesen, 1. Auflage, Berlin.

SACHER, G., HEMMLEB, M., SUTHAU, A. (1999): Mapping of Globe Surfaces into a Plane with Digital Photogrammetric Methods. In: Der Globusfreund - Wissenschaftliche Zeitschrift für Globen- und Instrumentenkunde, Band. 47/48, Wien, S. 305-320 .