

KOMBINIERTE 3D-DOKUMENTATION FÜR DEN DENKMALSCHUTZ

Peter Haberkorn
CEBO Computer- und Meßsysteme
GmbH
Am Kalkhügel 28
D-99706 Berka / Wipper
Tel.: 03632-70690, Fax: 03632-706949
Email: cebo-berka@t-online.de

Lothar Paul
GFal e.V. Berlin
3D-Datenverarbeitung
Rudower Chaussee 5 / 13.7
D-12484 Berlin
Tel.: 030-63921625, Fax: 030-63921602
Email: paul@gfai.de

Problemstellung

In der Phase der Planung von Sanierungen denkmalgeschützter Bestände, der Projektierung von Umbau, Neuaufbau oder Rekonstruktion ist die Verfügbarkeit zuverlässiger und aussagefähiger Bestandsunterlagen oftmals problematisch. Eventuell vorhandene, ältere Bestandsunterlagen stimmen oft nicht oder nicht mehr mit der Realität überein und sind als Planungsbasis nicht tauglich. Zahlreiche Büros lassen sich bereits nicht mehr auf die ausschließliche Verwendung bestehender Unterlagen ein. Neue, moderne Meßtechnologien für die Fassadenaufmessung sind in den letzten Jahren als Produkte und Dienstleistungen verfügbar geworden, so daß bei der Auswahl hier in erster Linie die Kostenbetrachtung im Vordergrund steht. Anders ist die Lage bei der Erfassung von Innenraum, besonders, wenn es sich um kleinteilige, verformte und evtl. bewohnte Bestände handelt sowie bezüglich freigeformter, hochkomplexer Objekte bzw. Geometrieanteile.

Auch die Aufgabe, sogenannte geografische (GIS) und Gebäude-Informationssysteme - GebIS - zu entwickeln, steht in vielen Bereichen der Bestandsverwaltung an. Mit dem vorgestellten System **TRIGOMAT** steht ein Arbeitsmittel zur Verfügung, das dem Architekten oder Bauingenieur gestattet, die Bestände ohne Spezialkenntnisse in einer Fremddisziplin zu digitalisieren. Der Meßvorgang wird dabei so vereinfacht, daß der Benutzer des Systems keine besondere geodätische Ausbildung benötigt.

Für die praktische Arbeit der Aufmessung und Dokumentation von Gebäuden, Fassaden, Innenräumen, technischen Denkmälern aber auch bei archäologischen Grabungen sind höchst unterschiedliche Anforderungen an Objektgröße, Meßauflösung, Genauigkeit und Technologie typisch. Während Fassaden oder Gebäudeensembles mittels Einzelpunktvermessung erfaßt werden können, wären für architektonisch-künstlerische Details wie Kunststeine, Reliefs, Stuckelemente oder Statuetten hochauflösende 3D-Erfassungsverfahren wünschenswert.

Ein für die unterschiedlichen Anforderungen kombinierbares, mobiles Meßsystem, wird im Rahmen einer Forschungskoooperation zwischen dem Berliner Unternehmen IIEF GmbH und der Thüringer Firma CEBO Computer und Meßsysteme realisiert. Im vorliegenden Beitrag werden die -teilweise bereits verfügbaren, teilweise in Entwicklung und Test befindlichen - Elemente des Systems vorgestellt und entsprechende Einsatzmöglichkeiten demonstriert.

Architekturvermessung - innovativ -

In den letzten Jahren hat die Anzahl derjenigen Architektur- und Planungsbüros stark zugenommen, die ihre Arbeit mit Hilfe von EDV-Lösungen effizienter gestalten. Dabei kommen u.a. spezielle Lösungen für die Beteiligung an Ausschreibungen, für CAD-Konstruktion und Dokumentation zum Einsatz. Das am Markt verfügbare, nahezu durchgängige System von Computer- und Softwarelösungen trägt wesentlich zur Deckung des ständig wachsenden Bedarf an Planungsunterlagen bei. Dort allerdings, wo vorhandene Substanz saniert, umgebaut oder einfach nur als Bestand erfaßt oder hinsichtlich des Ist-Zustandes dokumentiert werden soll, werden bislang nur sehr wenige rechnergestützte Lösungen eingesetzt.

Fassaden von Gebäuden lassen sich relativ einfach mit der erforderlichen Genauigkeit aufnehmen. Dafür werden u.a. fotografische bzw. photogrammetrische Verfahren angeboten, mit denen entsprechend aussagefähige Pläne hergestellt werden können. Hier ist die Genauigkeit nur eine Frage des Preises. Im Innenbereich von Gebäuden und da besonders, wenn es sich um kleinteilige, verformte und evtl. bewohnte Bestände handelt, sieht das anders aus. In diesen Fällen ist es nahezu unmöglich, kosteneffektive Aufnahmen durchzuführen. Dem Ingenieur bleibt meist nichts weiter übrig, als mit Schnüren, Bandmaß und Metermaß zu messen und die Substanz dann auf der Basis dieser Messungen im CAD-System nachzukonstruieren. Die so erreichbare Effektivität des Personaleinsatzes wirkt sich negativ auf Selbstkosten und die Attraktivität des Angebotes aus, nicht zu reden von der erreichbaren Genauigkeit. Aufnahmetechniken, die den Planer in diesem Bereich wirkungsvoll unterstützen, fehlten bislang. Bei Altbausubstanz sind zudem häufig Dokumentationen anzufertigen, die auch in der Sanierungsplanung Berücksichtigung finden sollen, was neue, weitergehende Anforderungen an die Bestandsaufnahme im Sinne des Denkmal- und Kulturgüterschutzes mit sich bringt.

Das TRIGOMAT-System

Die CEBO Computer- und Meßtechnik GmbH ist in den genannten Anwendungsbereichen seit einigen Jahren sowohl als Systemanbieter als auch Dienstleister erfolgreich tätig und hat umfassende praktische Einsatzerfahrungen in den

verschiedensten Bereichen wie Denkmalpflege und Archäologie, zum Aufmessen von Kirchen, Schlössern, einfacher Gebäude oder -teile vorzuweisen. Zur Aufmessung und Dokumentation ist dabei das modular angelegte Vermessungssystem **TRIGOMAT** im Einsatz, das auch die Grundlage für die hier vorzustellenden Ergebnisse bildet. Die mit diesem Vermessungssystem verfolgte Methodik ist darauf ausgerichtet, architektonische Objekte (insbesondere auch von innen) digital aufzumessen und die aufbereiteten Daten bereits während der Messung online über einen angeschlossenen Computer zur Kontrolle, Bewertung und Auswertung zur Verfügung zu stellen. Aufgrund des modularen Aufbaus ist das System **TRIGOMAT** dabei vielseitig einsetzbar, unter anderem für die Bereiche Architektur, Denkmalpflege und Archäologie sowie tiefbautechnische Vermessungen.



Abb. 1: Bestandsaufnahme am Schloß Jena-Lobeda, ausgeführt mit dem TRIGOMAT-System:

a) Südansicht - Rohdaten

b) Ostansicht - Dokumentation

Die Basisversion des **TRIGOMAT**-Systems

stellt eine interaktive Punktvermessung zur Verfügung, mit deren Hilfe unregelmäßige Flächen und Räume zwei- und dreidimensional in höchstem Maße verformungstreu und maßstabsgerecht aufgemessen werden können. Dabei entsteht auf dem Bildschirm des angeschlossenen Computers (online) ein Drahtmodell des gemessenen Objektes und im Hintergrund werden die gemessenen Koordinaten in eine Datei zur Weiterverarbeitung gespeichert. Mit **TRIGOMAT** können pro Arbeitstag bis zu 1200 Meßpunkte aufgenommen werden. Wesentlich ist, daß der Vermesser selbst - und zwar während der Meßprozedur - bestimmen kann, wieviel Meßpunkte er zur bestmöglichen Bestimmung der Konturen benötigt, so daß er von vornherein darauf Einfluß nehmen kann, wie idealisiert bzw. verformungstreu das Aufmaß werden soll. Die praktischen Aufgabenstellungen sind in dieser Hinsicht höchst unterschiedlich, es kann sich um die Bestimmung eines überschlägigen Aufmaßes aber auch um eine denkmalpflegerische Zielstellung bzw. um beides handeln. Eine rückgekoppelte, interaktive Vermessung mit direkter Ergebniseinsicht ist aus diesen Gründen vorteilhaft.

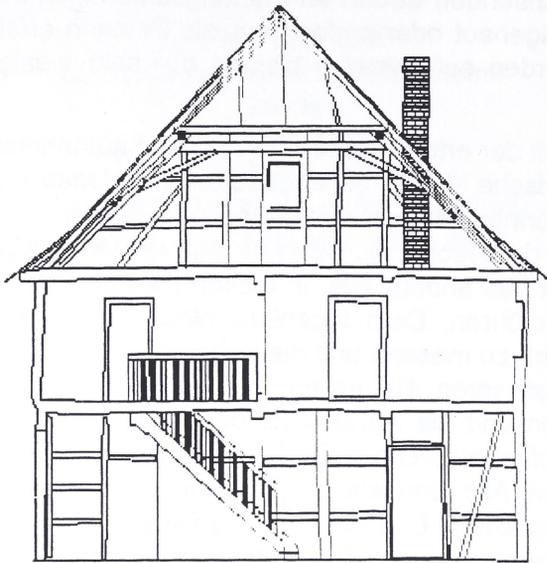


Abb. 2: Verformungstreues Aufmaß: Schnitt durch ein Fachwerkhaus in Trebra / Thür.

Die Sensorik des Vermessungssystems besteht aus einer Reihe verschiedener Meßwertaufnehmer, die für bestimmte Einsatzzwecke entwickelt wurden und ein weites Spektrum verschiedenster Aufgabenbereiche bedienen können. Das verfügbare Instrumentarium besteht bislang aus folgenden

Die Sensorik des Vermessungssystems besteht aus einer Reihe verschiedener Meßwertaufnehmer, die

für bestimmte Einsatzzwecke entwickelt wurden und ein weites Spektrum verschiedenster Aufgabenbereiche bedienen können. Das verfügbare Instrumentarium besteht bislang aus folgenden

Komponenten:

- 1) **Polarmessungen.** Das Standardmeßgerät ist ein elektronischer Theodolit, der mit einem Laserentfernungsmesser kombiniert ist. Der Theodolit liefert hierbei die Winkelwerte, bezogen auf eine gewünschte Basis. Der Laser ermittelt nach Laufzeit eines Meßstrahles die Entfernung zu einem Objekt mit Millimetergenauigkeit. Zur interaktiven Ausrichtung wird ein Laserstrahl im sichtbaren Bereich genutzt. Mit ihm wird der Meßpunkt anvisiert und seine Polarkoordinate gemessen. Vorzugsweise wird mit freier Stationierung gearbeitet. Mit diesem Verfahren sind die meisten Meßaufgaben zu bewältigen. Dabei können Messungen bis 30-40 m ohne Reflektor und bis ca. 140 m mit Reflektor ausgeführt werden. Neuere Laserentfernungsmesser realisieren Entfernungen von ca. 80 m bei einer Genauigkeit bis zu 1,5 mm genau.
- 2) **Polarmessungen mit Reflektor.** Das Standardmeßgerät (wie 1) ist ein Tachymeter. Für die verschiedensten Genauigkeitsanforderungen sind entsprechende Tachymeter, die diesen Anforderungen entsprechen, einzusetzen. Bezogen auf eine individuelle oder offizielle Basis werden Polarkoordinaten von Meßpunkten aufgenommen, die vorzugsweise in weiteren Territorien liegen. Es wird wiederum meist mit freier Stationierung gearbeitet. Je nach Tachymeter sind Entfernungen von 100 m bis 1500 m mit Genauigkeiten im Zentimeterbereich realisierbar. Eine Kombination mit reflektorlosen Messungen (siehe 1) mit einem Laserentfernungsmesser ist möglich
- 3) **Vorwärtseinschneideverfahren.** Alle Meßgeräte des Vermessungssystems **TRIGOMAT** arbeiten auf einem elektronischen Datenbussystem. So ist es auf einfache Weise möglich, mehrere Meßgeräte hardwaremäßig zu koppeln. Zur Realisierung von Messungen nach dem Einschneideverfahren können so zwei elektronische Theodolite angeschlossen werden, mit denen dann die Messungen vorgenommen werden. Auf diese Weise werden ebenfalls 3-D Koordinaten von Meßpunkten bestimmt, die auf direktem Wege in den angeschlossenen Computer geleitet werden. Die **TRIGOMAT**-Software unterstützt solche Messungen auch für den Fall der

aufeinanderfolgenden Erfassung von unterschiedlichen Standorten mit einem Sensor. Eine integrierte Fehlerbewertung verhindert in diesem Fall, daß große Abweichungen " kritiklos" akzeptiert bzw. nicht rechtzeitig bemerkt werden.

- 4) **Ebenenbezogene Einzelpunktmessung.** Mit einem Meßgerät nach Punkt 1) oder 2) wird eine beliebig im Raum angeordneten Ebene durch mindestens drei Meßpunkte bestimmt, auf der dann durch Winkelmessungen mit einem Theodoliten die (relative) Lage der gewünschten Meßpunkte ermittelt wird. Dieses Verfahren ist allerdings mit größter Vorsicht einzusetzen, da hier schwer kontrollierbare Genauigkeitsfehler auftreten können.
- 5) Bestimmung von 2-D und 3-D Koordinaten mit einem **elektronischen Bandmaßsystem.** Das Meßgerät in diesem Falle sind zwei oder drei elektronische Bandmaße, die in einem in der Auswertesoftware initialisierten Verhältnis zueinander stehen. Der Meßwertermittlung liegt das Prinzip des Bogenschlages zugrunde. Auf diese Weise sind sehr genaue Detailaufnahmen mit Genauigkeiten von 1 bis 3 mm möglich.
- 6) Lokal **hochdichte 3D-Koordinatenerfassung.** In Kooperation mit der IIEF Berlin GmbH wird ein mobiles 3D-Erfassungssystem für die Erfassung freigeformter Details und Strukturen integriert, das im Bedarfsfall -ebenfalls berührungslos und mit wesentlich höherer Auflösung- 3D-Koordinaten liefert, aus denen komplexe Oberflächenbeschreibungen der betreffenden Objekte errechnet werden. Die resultierenden Objektmodelle werden dann mittels Paßmarken geometrisch richtig in die generelle Dokumentation eingepaßt. Diese Komponente (triCloud) stellt eine Ergänzung des Systems im Bereich der hochauflösender Messungen dar.

Alle Meßwertaufnehmer können in Kombination eingesetzt werden, beispielsweise kann ein mit dem System 2) grob eingemessenes Territorium erst mit dem System 1) und später noch mit dem System 5) detaillierter vermessen und mit durch 6) erfaßten Freiformdetails ergänzt werden. Sämtliche Meßpunkte stehen im realen Verhältnis zueinander zur Verfügung. Wesentliche Ergebnisse der Messungen können dabei bereits vor Ort ausgeplottet bzw. gedruckt werden.

Die triCloud-Komponente

Für die hochauflösende Erfassung freigeformter Objektteile wird ein mobiles 3D-Meßssystem mit einer Auflösung von bis zu 1 Mio 3D-Koordinaten pro Aufnahme eingesetzt, das Objektausschnitte bzw. -elemente bis zu einer Größe von 2-4 Metern erfassen kann. Aus diesen Daten werden optimierte, virtuelle Flächenmodelle des Objektteils errechnet, welche über Paßmarken in ein globales Koordinatensystem des mittels **TRIGOMAT** erfaßten Gesamtkomplexes eingepaßt werden können. Je nach Aufgabenstellung kann aus den so gewonnen Daten eine CAD-gerechte technische Dokumentation oder eine Virtual-Reality-Präsentation generiert werden.

Als 3D-Sensor wird ein bild- und streifenprojektionsgestütztes System eingesetzt, das eine angepaßte Weiterentwicklung nach [1][2] darstellt. Das zugrundeliegende Meßprinzip gestattet es, eine 3D-Koordinatendichte des zu vermessenden Objektes entsprechend der Matrixauflösung der Kamera zu realisieren, d.h. mit jedem Bildpunkt der Kamera einen 3D-Punkt (Koordinate) zu erfassen. Algorithmisch wird die hohe Auflösung durch ein hybrides Projektionsverfahren erreicht, bei dem zusätzlich zur binären Referenzkodierung (Streifenmuster, Gray-Code) eine Phasenshiftsequenz projiziert wird.

Das System arbeitet mit einer Kamera, die konstruktiv senkrecht über der Projektionseinheit angeordnet ist. Das aktiv-stereometrische Meßverfahren mit nur einer Kamera wird auch als „inverse Stereometrie“ bezeichnet, da die Projektionseinheit im mathematischen Sinn als zweite, „sendende“ Kamera aufgefaßt werden kann. Für die Projektionseinheit wird sowohl in der Kalibrier- als auch in der Meßprozedur nur eine Streifenprojektionsrichtung erforderlich, was zu einer Kosteneinsparungen bei der Projektionshardware führt. Nach erfolgter Kalibrierung und Positionierung nimmt die Erfassung einer Objektansicht nur Sekunden in Anspruch. Die übrigen Einsatzmerkmale des

Sensors bzw. Meßsystems, insbesondere Mobilität, Robustheit und Bewegungsfreiheit bei der Vermessung wurden im Vergleich mit dem früheren Aufbau [5] weiter verbessert (Kompaktheit, bessere konstruktive Integration der Komponenten, Schaffung und Integration einheitlicher Spannungsversorgung für alle Komponenten, Überarbeitung der Justage- und Positioniermechanik). Das System kann mit Standard- und hochauflösenden Kameras (z.B. 1024x1024) arbeiten, und ist auch hinsichtlich der Projektionstechnik insofern modular, als sowohl der Standard-LCD-Projektor (320 Linien) Fa. ABW Dr. Wolf als auch eine Blitzlicht-Variante alternativ eingesetzt werden können. Der Blitzeinsatz ist für die Realisierung größerer Lichtstärken und damit für die Verbesserung der Fremdlichtunabhängigkeit und der Erschließung von größeren Meßfeldern geeignet, andererseits allerdings mit einer Komplizierung des Verfahrens verbunden, da für erforderliche Systemeinstellungen nur die "geblitzten" Einzelaufnahmen herangezogen werden können.

Der Kalibriervorgang für die hochauflösende 3D-Erfassung muß - der Flexibilität und Adaptierbarkeit des Systems geschuldet - vor Ort ausgeführt werden, was die Mitführung eines Kalibriernormals erforderlich macht (Auf die Kalibrierung vor Ort könnte nur dann verzichtet werden, wenn eine absolut unveränderliche Festeinstellung hinsichtlich Objektgröße und Meßentfernung vorgesehen ist). Insbesondere bei großen Meßräumen (über 1,5 m) stellt die Nutzung eines großen Kalibrierkörpers, der ja auch transportiert werden muß, ein logistisches Problem dar. Für die konstruktiv-verfahrenstechnische Realisierung großer und genauer, aber zerlegbarer Kalibriernormale, bei denen also einerseits eine hohe Punktgenauigkeit der Kalibriermarken und andererseits eine Flexibilität hinsichtlich der Größe des Kalibrierraumes gewährleistet bleibt, wurden inzwischen neue Prinziplösungen gefunden. Das Kalibriernormal stellt in der gegenwärtigen

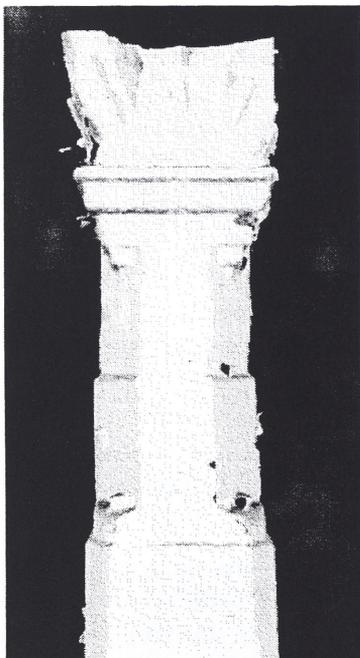


Abb. 4: Säule aus einem Kellergewölbe auf Schloß Heringen (Thür.) - 3D-Oberflächenmodell.

Variante eine spezielle Konstruktion mit Abmessungen von ca. 0,8 x 1,4m dar, die mit optisch auswertbaren Marken versehen ist und frei im Meßfeld positioniert wird.

Mittels der weitestgehend automatisierten Kalibrierprozedur (Software) wird die jeweilige Positionierung und Ausrichtung im System Kamera-Projektor bestimmt, so daß der Sensor dann ohne Neukalibrierung problemlos neu ausgerichtet oder bewegt werden und die Vermessung aus frei wählbaren Positionen erfolgen kann. Bei Aufnahmen im Außenbereich kann der Betrieb wahlweise über Netzspeisung oder mittels Autobatterien (Projektionslampe 250W) realisiert werden. Für den Off-Line-Betrieb des mobilen Rechners (incl. Kameraversorgung) bis zu zwei Stunden steht ein speziellentwickelte Akku-Stromversorgung bereit. Beim Einsatz des Halogenlampenprojektors werden zwei Meter große Objekte unter Werkhallenbedingungen (Tageslicht, gedämpft) oder im Außenbereich erfaßt, in den Nachtstunden sind auch größere Meßbereiche möglich. Aufnahmen im Außenbereich können erfahrungsgemäß in den Abendstunden erfolgen, ohne daß dies eine Beeinträchtigung für die Anwender darstellt.

Typische Anwendungsfälle für partiell hochaufgelöste 3D-Erfassungen (Fresken, Statuen, Kunststeine, Stuckelemente) erfordern meist die Erfassung von Hinterschnitten bzw. sogar eine

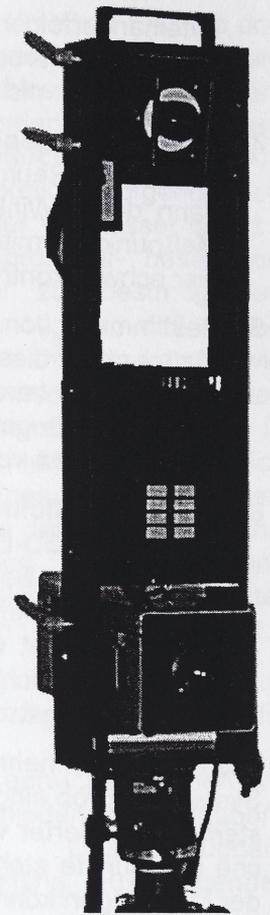


Abb. 3: Der hochauflösende mobile 3D-Sensor, auf ein Meßstativ montiert.

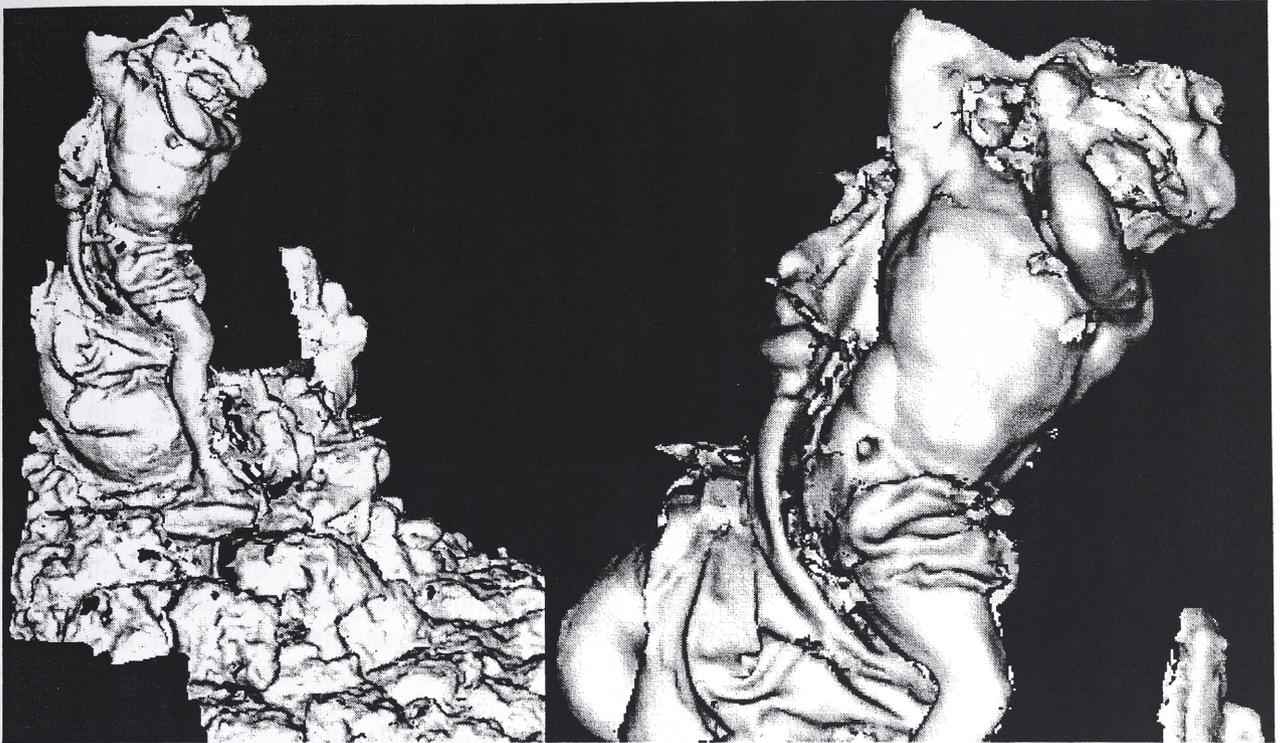


Abb. 5: Springbrunnenfigur aus dem Schloßhof in Sondershausen: Modellfragment und Modellausschnitt. Die Figur erhebt sich etwa 3m über einem kreisrunden Sockel mit 3m Durchmesser in der Mitte des Brunnens. Für die Modellierung wurden 59 3D-Aufnahmen (insgesamt über 3 Milliarden 3D-Koordinaten, allerdings hochredundant) von verschiedenen Positionen auf dem Brunnenrand erfaßt.

"Rundumerfassung" der Objekte. Das heißt, die zu dokumentierenden Objekte können von einem einzigen Betrachterstandpunkt aus nicht annähernd komplett dreidimensional erfaßt werden. Mit dem mobilen Erfassungssystem ist es kein Problem, die Messung nacheinander aus einer beliebigen Anzahl frei wählbarer Positionen zu wiederholen, um die der Aufgabe entsprechend komplette und detaillierte Datenmenge zu erfassen. In diesem Fall liegen die Meßergebnisse von unterschiedlichen Aufnahmepositionen dann in nicht korrelierten Koordinatensystemen vor und müssen in einer nachträglichen Bearbeitung zusammengeführt werden. Diese Aufgabe kann mit verschiedenen kommerziell verfügbaren Programmen, jedoch auch mit der zum Meßsystem gelieferten Software gelöst werden. Voraussetzung dafür ist, daß in den einzelnen 3D-Meßaufnahmen identifizierbare und referenzierbare Matchpunkte vorhanden sind (jeweils drei Entsprechungen). In der Praxis werden dafür meist kleine Kugeln an Objekt angebracht (angehängt, aufgelegt, mit Klebeband o.ä. befestigt) und mit vermessen. Da pro Kugel in der Regel einige -zig oder hundert 3D-Koordinaten vermessen werden, kann dann einerseits der Mittelpunkt der Kugel sehr genau berechnet, andererseits die Kugel in der Punktwolke einfach identifiziert werden. In der Weiterentwicklung des Systems ist vorgesehen, spezielle Kugeln mit einer optisch auswertbaren Identifikation zu schaffen, die eine Automatisierung der Koordinatentransformationsroutine erlaubt. Im Übrigen können natürlich ggf. auch eindeutige Objektmerkmale wie Spitzen oder Texturen direkt für die Zusammenführung der Punktwolken genutzt werden, wenn die konkrete Aufgabe bzw. Objektausprägung dies zulassen.

Es ist anzumerken, daß die Prozedur der Zusammenführung der Meßdaten, speziell bei großen und komplexen Objekten einen nicht zu unterschätzenden Arbeitsaufwand darstellt. Für die Rundumerfassung der sanierungsbedürftigen Springbrunnenfigur (einschließlich des Sockels) im Schloßhof Sondershausen (Oberflächenmodell siehe Abb. 5) wurden insgesamt 59 Einzelaufnahmen (jede mit 300.000 bis 700.000 3D-Koordinaten) aufgenommen. Für die Zusammenführung der Punktwolken waren etwa 40 kleine Kugeln auf dem Objekt bzw. um das Objekt herum verteilt. Bei

der Nachbearbeitung der Daten wurden 58 Datensätze auf das Koordinatensystem des übrigen "gematcht".

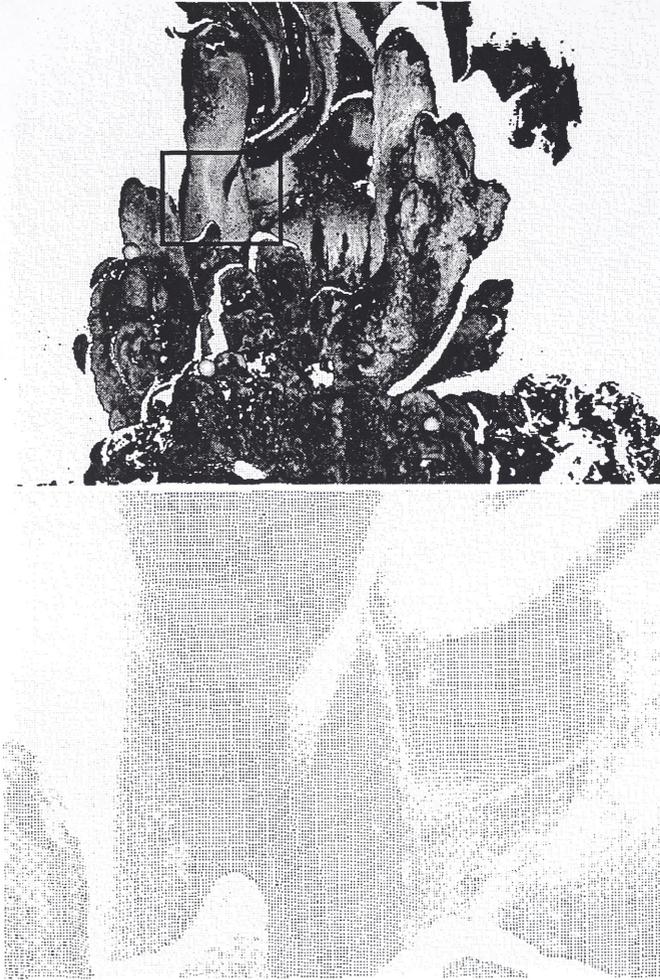


Abb. 6: Einzeldatensatz von der Brunnenfigur mit Zoom zur Verdeutlichung der Meßauflösung. Durch die unvermeidliche Redundanz bei der Vielzahl von Aufnahmen aus unterschiedlichen Positionen erhöht sich die lokale Punktdichte noch wesentlich. Im oberen Teil sind einige der genutzten Paßmarken (Kugeln) zu erkennen.

genwärtig noch nicht alle Möglichkeiten für eine optimale Auswertung gegeben sind, insbesondere dann, wenn mit einer weiteren Verschlechterung des Zustandes der Objekte gerechnet werden muß, wenn mit Transporten oder Bauarbeiten eine potentielle Gefährdung der Objekte oder die Übergabe der Daten an entsprechend ausgerüstete Dienstleister (Restauration, Präsentation) absehbar ist.

Literatur:

- [1] Wolf, H.: "Neue Entwicklungen auf dem Gebiet des codierten Lichtansatzes: Absolut messende 3D-Phasenshift-Moirémeßverfahren", GMA Bericht 23, GMA-Aussprachetag 11./12.Okt. 94, S. 205-209, VDI-Verlag Düsseldorf, 1994
- [2] W. Riechmann: Kombination von Photogrammetrie, codiertem Lichtansatz und Phase-Shifting-Verfahren zur hochauflösenden Oberflächenvermessung. GMA-Bericht 23, 1994

Die Paßmarken für die Einbindung des resultierenden Objektmodells in die per **TRIGOMAT** vermessene Umgebung werden (anhand von aufgeklebten Texturmarken oder ebenfalls Kugeln) ebenfalls vermessen, im 3D-Datensatz besonders markiert und während der Zusammenführungsprozedur jeweils mit den Punktdaten transformiert, so daß sie am Ende im Komplettdatensatz (in einem Objekt-Koordinatensystem) vorliegen und für die Positionierung des Objektes in der Endpräsentation genutzt werden können.

Die Autoren merken an, daß die im letzten Abschnitt dargestellten Möglichkeiten der virtuellen Dokumentation und Präsentation komplexer 3D-Objekte auch neue Standards hinsichtlich der Datenverwaltung sowie der Nutzerschnittstellen herausfordern. Es macht wenig Sinn, aufwendige dreidimensionale Messungen auszuführen, um letztlich bestenfalls ein rechnergeneriertes Bild des Modells in eine Papierdokumentation einzufügen. In diesem Fall wäre ein gutes Photo nicht nur wesentlich billiger, sondern mit hoher Wahrscheinlichkeit auch aussagekräftiger.

3D-Daten nutzen dem Anwender nur, wenn sie - beispielsweise auf CD-ROM gebrannt - mit entsprechender Software visualisiert, analysiert und ggf. bearbeitet werden können. Die 3D-Dokumentation des Ist-Zustandes einzigartiger kultureller Objekte, etwa vor und nach einer Restauration, macht allerdings auch dann Sinn, wenn ge-

- [3] Paul, L.: Transportable Einrichtung zur 3D-Aufnahme von Skulpturen auch unter Freiluftbedingungen, Electronic Imaging and the Visual Arts EVA'96, Proceedings, Berlin, November 1996
- [4] L. Paul: Mobile, bildgestützte 3D-Vermessung von Objekten im Meterbereich, *TRAB-Workshop 3D-Nord-Ost*, Berlin, Dez. 1997
- [5] Paul, L., "Computer Aided Methods for 3D-Measurement and Modelling in Cultural Applications", *The Hidden Resource*, MDA-Conference, Proceedings Edinburgh, 1995