

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.

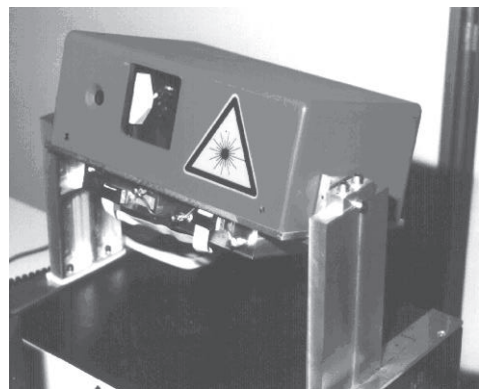


Abb. 1: Laserscanner des Instituts für Navigation der Universität Stuttgart.

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 Objektabstände.

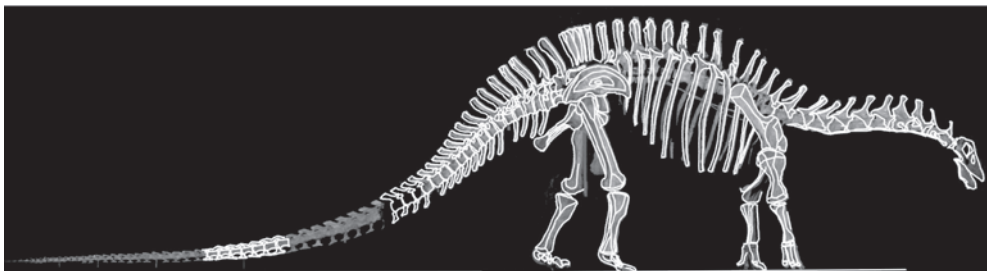


Abb. 3: Das Intensitätsbild des Laserscanner-Datensatzes überlagert mit den Ergebnissen einer photogrammetrischen Auswertung.

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.

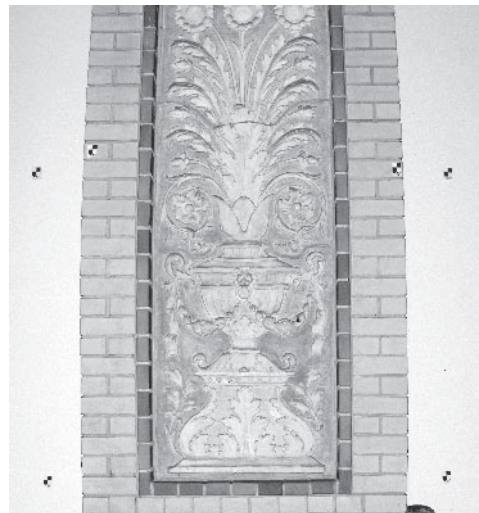


Abb. 5: Unbearbeiteter (und deshalb tonnenförmig deformiert erscheinender) Intensitäts-Datensatz Nr. 2 des Laserscanners.

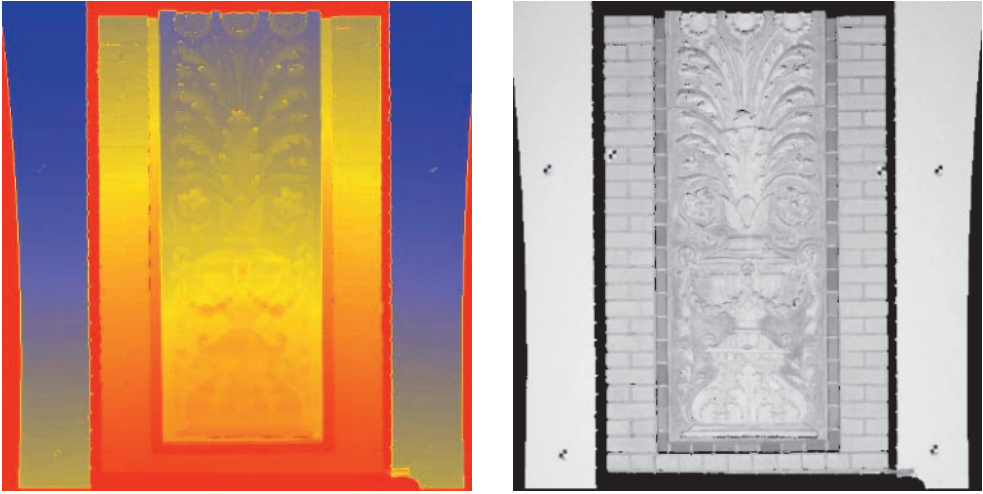


Abb. 6: Datensatz Nr. 2 umgewandelt in ein orthogonales Raster. Links: In Farben codiertes Abstands-bild. Rechts: Intensitätsbild (die schwarzen Bereiche repräsentieren Regionen ohne Daten, entweder wegen Verdeckung oder weil sie außerhalb des Arbeitsbereiches lagen).

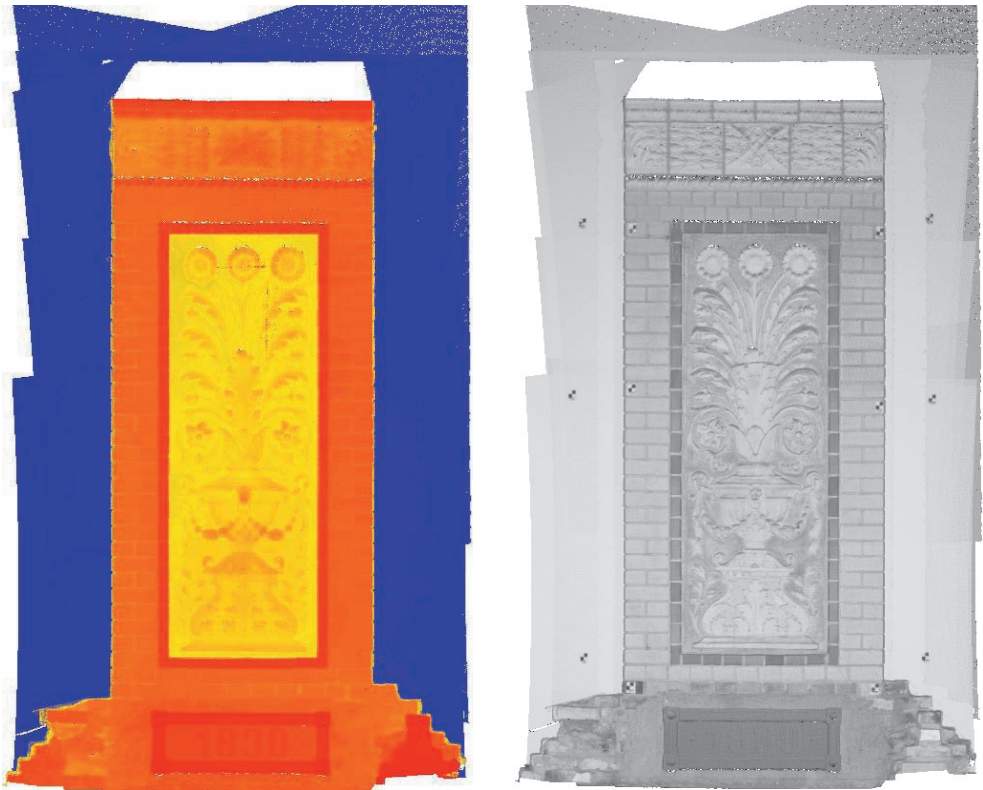


Abb. 7: Aus 7 Datensätzen zusammengesetztes Mosaik. Links das Digitale Oberflächenmodell (in ein farbcodiertes Abstands-bild umgewandelt). Rechts ein aus Laserscanner-Daten abgeleitetes digitales Bild (Intensitätsbild).

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-

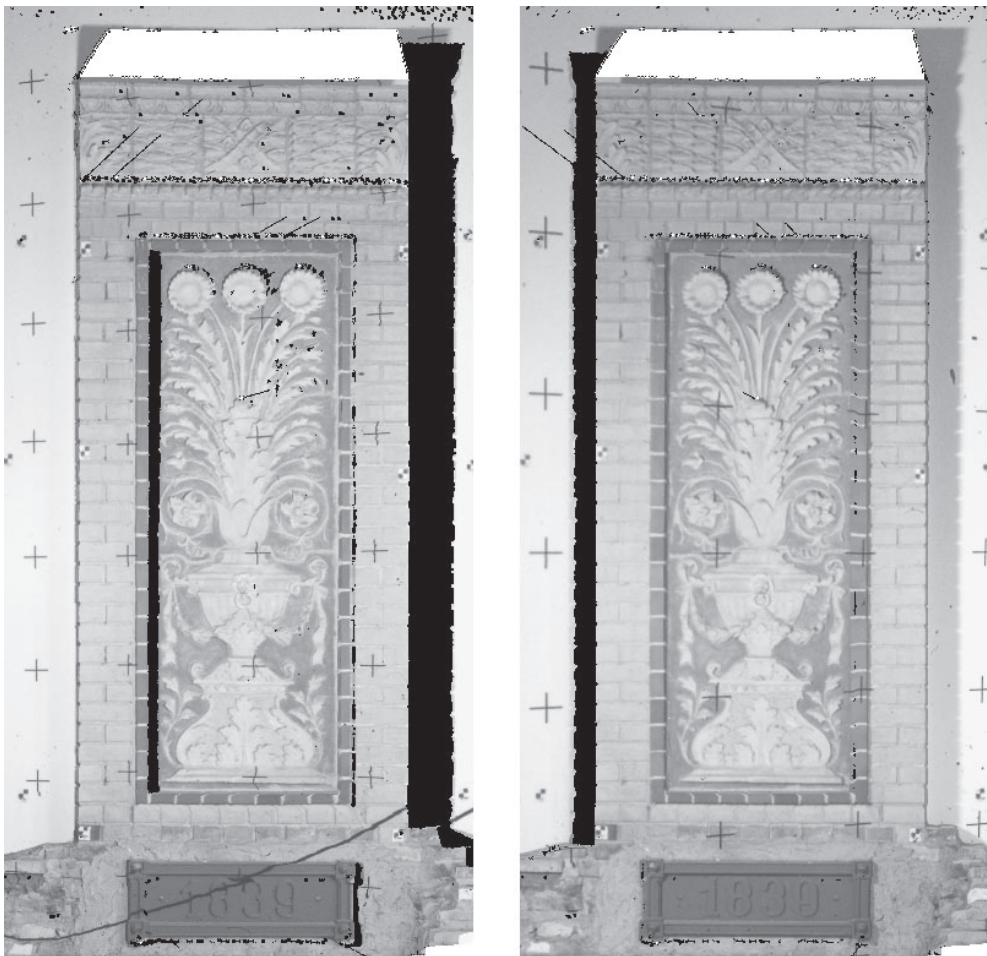


Abb. 8: Zwei Orthophotos, berechnet aus unterschiedlichen, von verschiedenen Standpunkten aus aufgenommenen Originalbildern. Weiße Bereiche repräsentieren Gebiete ohne Laserscanner-Daten, schwarze Bereiche sind sichttote Räume in den Bildern. Im linken Bild ist unten ein Kabel zu sehen.

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

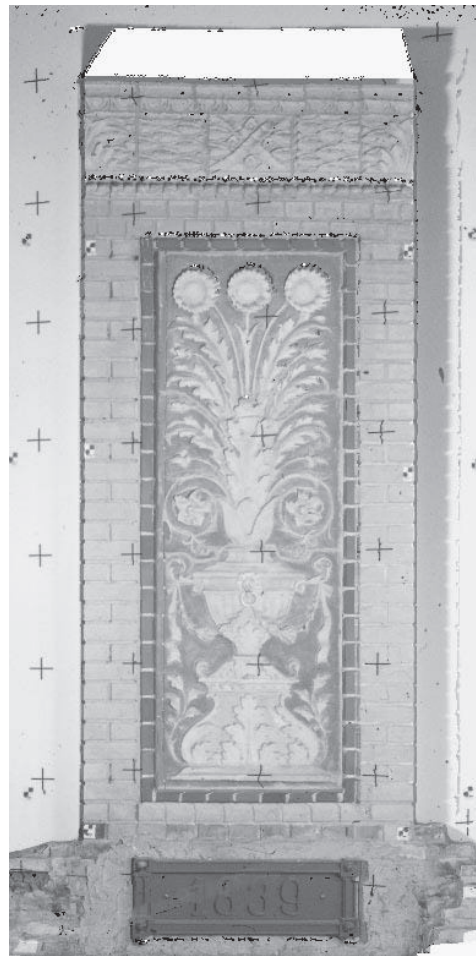
ser-scanner-Daten und photogrammetrische Daten ergänzen, und inwiefern sie als Konkurrenz zu betrachten sind.

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.

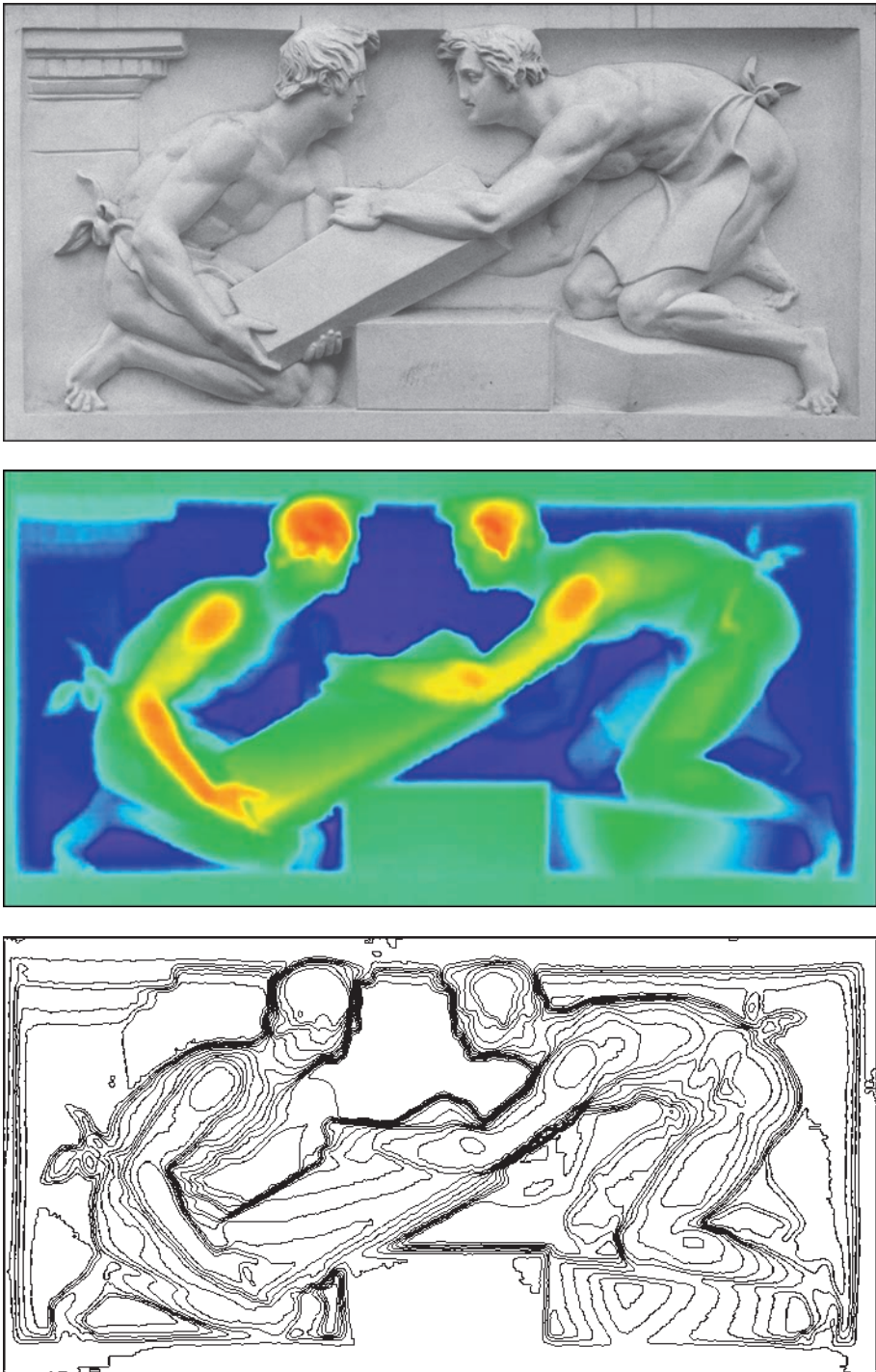


Abb. 10: Replikat des Reliefs „Grundsteinlegung“ von der ehemaligen Bauakademie. Oben: Photographisches Bild. Mitte: Mit dem Laserscanner gewonnenes Abstandsbild (rot = vorne, blau = hinten). Unten: Aus den Laserscanner-Daten abgeleitetes Höhenlinienbild.

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