

Zeitschrift: Geschichte und Informatik = Histoire et informatique

Herausgeber: Verein Geschichte und Informatik

Band: 5-6 (1994-1995)

Artikel: Anwendungen der Digitalen Photogrammetrie auf dem Gebiet der Kunstgeschichte

Autor: Streilein, André / Gaschen, Stephan / Maas, Hans-Gerd

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-118834>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 02.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Anwendungen der Digitalen Photogrammetrie auf dem Gebiet der Kunstgeschichte

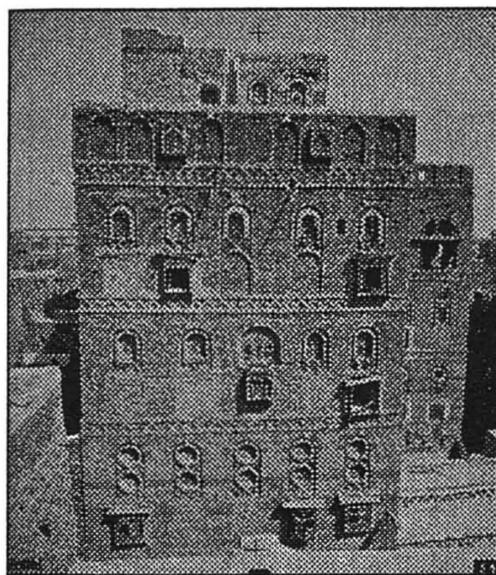
André Strelein, Stephan Gaschen, Hans-Gerd Maas

1. Einleitung

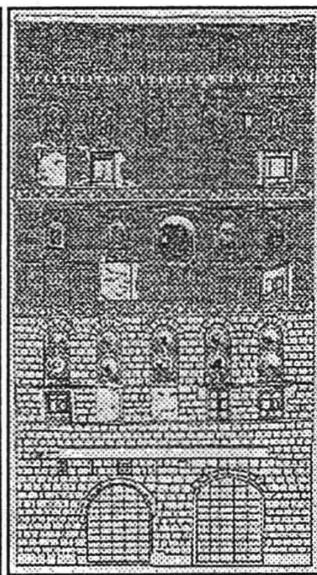
Kunstgeschichte und Denkmalpflege haben ihre Diagnose auf den erfassten Ist-Zustand abzustützen. Beim konventionellen Aufmessen vor Ort handelt es sich jedoch um eine mühsame und zeitaufwendige Arbeit. Jeder Punkt muss einzeln vermessen und aufgetragen werden, wobei der Zeichner diese punktweise Messung mittels Verbindungslien zum vollständigen Bild ergänzt. Je nach den zeichnerischen Fähigkeiten des Aufnehmenden liefert dieses Verfahren mehr oder weniger richtige Skizzen und Zahlenwerte. Nun wird eine Bauaufnahme in der Regel durch eine photographische Zustandsdokumentation begleitet. Allerdings lässt die Photographie alleine keine exakten Analysen eines Kunstwerks zu, da sie ein unmassstäbliches und verzerrtes Abbild der Wirklichkeit liefert. Mit der Photogrammetrie jedoch steht ein Hilfsmittel zur Verfügung, das eine zuverlässige dreidimensionale Objektbeschreibung liefert und bei dem die Aussenarbeit auf ein Minimum reduziert wird. Ihre wesentlichsten Merkmale sind:

- Berührungsreie Erfassung des Objekts einschliesslich aller Details.
- Einsparung kostspieliger Einrüstung und Ausschaltung aller mit einer Einrüstung verbundenen Gefahrenmomente. Kaum Störung sonstiger Arbeiten am Objekt.
- Mit der Photographie wird das Objekt in den Messraum übertragen, wobei alle weiteren Bearbeitungen unter kontrollierten Innenraum-Bedingungen erfolgen.
- In den Aufnahmen ist das Objekt bildmässig konserviert (Bildarchive). Die Messung kann zu einem beliebigen Zeitpunkt erfolgen, auch dann noch, wenn das Objekt in der Zwischenzeit verändert wurde oder nicht mehr existiert.
- Zeitersparnis und Wirtschaftlichkeit. Der Zeitaufwand der örtlichen Aufnahme von Handaufmessung zur Photogrammetrie verhält sich wie 80:1, im Gesamtaufwand (Aufnahme und Auswertung) ist das Verhältnis 18:1 (*Döhler, 1977*).
- Erzielung homogener Genauigkeit und hoher Nachbarschaftsgenauigkeit.

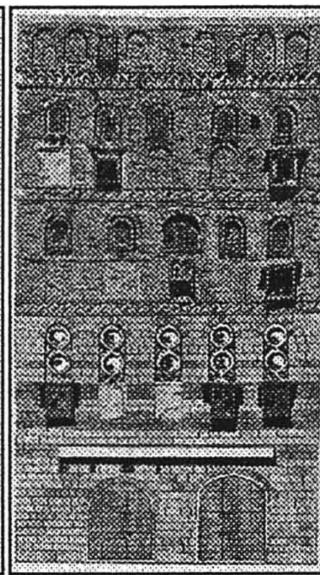
Dieser Artikel befasst sich speziell mit Methoden und Verfahren der Digitalen Photogrammetrie. Der Begriff «digital» bedeutet hierbei, dass mit



Aufnahme der Hauptfassade



Linienkartierung



kolorierte Linienkartierung

Abb. 1: Beispiel für eine mit AutoCAD ausgewertete Fassade.

digitalen oder digitalisierten Bilddaten gearbeitet wird. Seit etwa Mitte der achtziger Jahre, als relativ leistungsfähige und kostengünstige Rechner (Personalcomputer, Arbeitsstationen) aufkamen und die ersten preiswerten CCD-Kameras auf dem Markt erschienen, bilden digitale Verfahren einen Forschungsschwerpunkt in der Photogrammetrie. Im folgenden berichten wir über drei unterschiedliche Bereiche der Architekturphotogrammetrie, in denen digitale Verfahren angewendet werden.

2. Einsatz der Photogrammetrie beim Kulturgüterschutz im Jemen

Zur Dokumentation des Originalzustandes und als Planungsgrundlage für die Renovierungsarbeiten eines Altstadthauses in Sana, Jemen, wurde eine photogrammetrische Aufnahme durchgeführt (*Gaschen et al., 1994*). Das Ziel der photogrammetrischen Aufnahme und Auswertung war eine vollständige steingerechte Kartierung sämtlicher Fassaden. Die Aufnahmen wurden mit einer Mittelformatkamera Rolleimetric 6006 und Objektiven verschiedener Brennweiten durchgeführt. Der erste Teil der Auswertung erfolgte mit einem analytischen Plotter und der CAD-Software AutoCAD (siehe Abb. 1).

Aufgrund des hohen Zeitaufwandes für die steingerechte Kartierung am analytischen Plotter wurde beschlossen, mit den Aufnahmen der weniger repräsentativen Fassaden der Gebäuderückseite, die im Gegensatz zu den Frontfassaden keine grosseren Vorsprünge aufweisen, photographische Entzerrungen durchzuführen. Da auch diese Fassaden nicht total eben waren (Verzierungselemente, kleine Vorsprünge), war man gezwungen, bei solchen

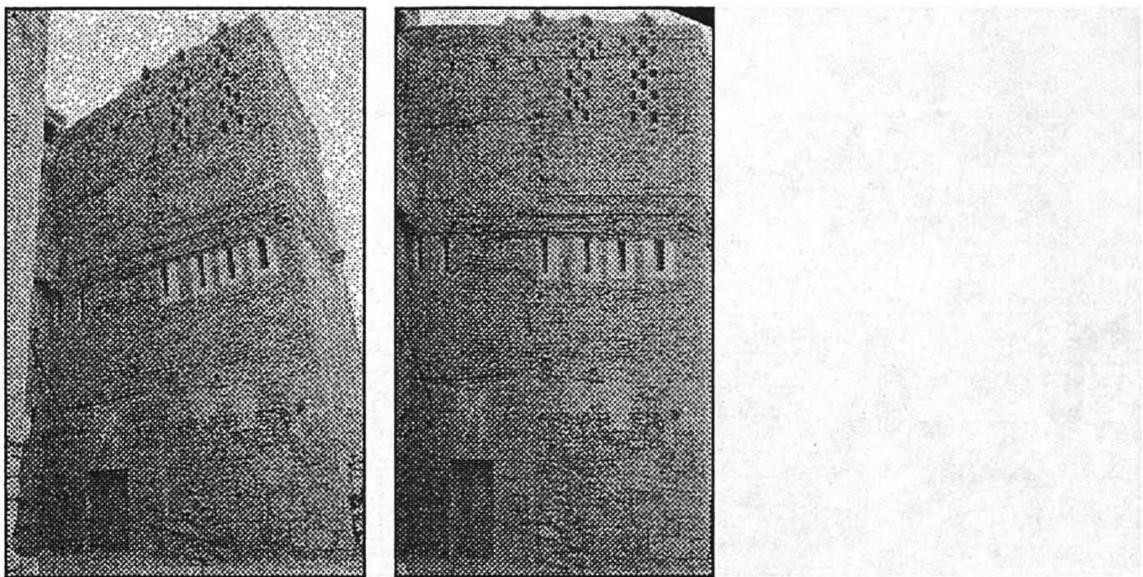


Abb. 2: Gescanntes Originalbild und digitale Entzerrung.

Elementen einen Lagefehler in der Kartierung zu akzeptieren (*Jansch, 1976*). Diverse Berechnungen ergaben für die verwendete Aufnahmekonfiguration einen Lagefehler von ± 6 cm im Objekt, was der Definitionsgenauigkeit bei Architekturobjekten entspricht und somit als genügend genau erachtet wurde. Die meisten rückwärtigen Fassaden wurden an einem Analogauswertegerät entzerrt. Schräge Visuren in Verbindung mit dem verwendeten kurzbrennweitigen Objektiv der Aufnahme-Kamera führten in einigen Fällen dazu, dass die Tischneigungen des Entzerrungsgerätes nicht ausreichten und mehrmaliges Umbilden der Aufnahmen nötig wurde. Damit die komplizierte Umbildung über mehrere Teilentzerrungen, die mit Genauigkeits- und Bildqualitätsverlusten verbunden ist, umgangen werden konnte, wurde bei einer der problematischen Fassaden eine digitale Entzerrung durchgeführt. Dazu wurde ein Papierabzug von 15×15 cm Grösse mit einer Auflösung von $25 \mu\text{m}$ gescannt und digital weiterverarbeitet.

Bei der digitalen Entzerrung handelt es sich um eine rein rechnerische Aufgabe (*Jordan, Eggert, Kneissl, 1972*): Die ebenen Koordinaten der Objektpunkte werden durch Ansatz der Grundgleichungen der projektiven Transformation bzw. ihrer Umkehrung bestimmt. Vorausgesetzt wird die Kenntnis der Bildkoordinaten und der ebenen räumlichen Koordinaten der Passpunkte. Es sind mindestens vier Passpunkte erforderlich. Die digitale Entzerrung weist gegenüber der analogen Entzerrung folgende Vorteile auf: extreme Schrägaufnahmen können weitgehend ohne Verluste bei der Detailwiedergabe entzerrt werden; es können beliebige Objektivbrennweiten eingesetzt werden, ohne dass mehrere Entzerrungsschritte durchgeführt werden müssen; Details können durch Filteroperationen hervorgehoben

werden; es besteht eine grosse Palette von Punktoperationen und Möglichkeiten zur Bildverbesserung. Die Bilder konnten nun mit den Methoden der digitalen Bildverarbeitung weiterbearbeitet werden.

Die steingerechte Kartierung dieser Fassaden erfolgte anschliessend durch Hochzeichnen der massstäblichen Photoplots. Bei weitgehend ebenen Fassaden und gegebenen hardwareseitigen Voraussetzungen (digitale Kamera oder Scanner, hochauflösendes Ausgabemedium) nimmt die digitale Entzerrung wesentlich weniger Zeit in Anspruch als eine konventionelle analytische Auswertung, wobei unter Umständen der Informationsgehalt sogar höher sein kann und die Daten dem Kunden zur hardwareunabhängigen Interpretation zur Verfügung gestellt werden können. Vorsprünge in der Fassade wie Erker können dabei bei vorhandener Software gesondert berücksichtigt werden (differentielle Entzerrung).

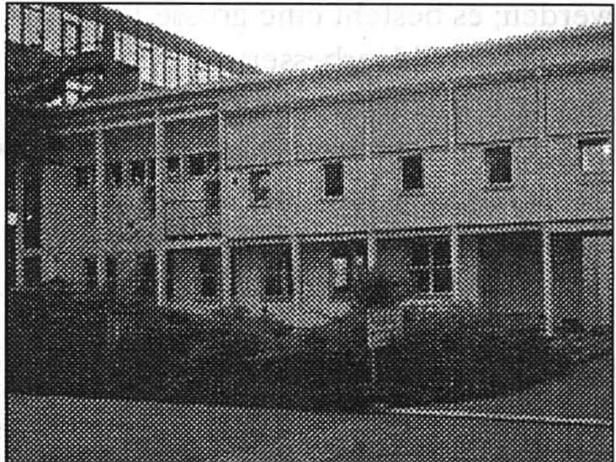
3. Videokamera und Architekturphotogrammetrie

Neuentwicklungen in den Bereichen der Halbleitersensor- und der Computertechnologie erlauben es, ohne den Umweg über photographische Bilder und das Photolabor die Bildinformation in Videoechtzeit zu digitalisieren und einer digitalen Verarbeitung zuzuführen. Ziel eines digitalen Systems zur Architekturphotogrammetrie ist die Vereinfachung und Beschleunigung der photogrammetrischen Aufnahme und Auswertung sowie die Erstellung einer dreidimensionalen geometrischen und semantischen Objektbeschreibung. Dazu muss das System in der Lage sein, die Bilddaten mit einem hohen Automatisierungsgrad weiterzuverarbeiten und die Ergebnisse zur Visualisierung und architektonischen Weiterverarbeitung an ein CAD-System zu übergeben. Erreicht wird dies durch den Einsatz von elektronischen Kameras, die eine Filmentwicklung erübrigen, und durch die Anwendung von halbautomatischen und automatischen Auswertemethoden bei der Verarbeitung der digitalen Bilddaten (*Streilein, Beyer, 1992; Streilein, 1994*).

An einem praktischen Beispiel wird der Einsatz einer handelsüblichen Videokamera in der Architekturphotogrammetrie vorgestellt. Dabei war der Einsatz einer Videokamera von Interesse, um herauszufinden, ob die Unmenge von Bilddaten, die bereits von Kunstgegenständen existieren (z.B. Touristenaufnahmen), zur photogrammetrischen Analyse herangezogen werden können. Dies insbesondere, wenn das Objekt zwischenzeitlich stark beschädigt oder gar zerstört wurde (*Waldhäusl, Brunner, 1989*). In diesem Fall benützten wir für die photogrammetrische Aufnahme einen JVC Camcorder GR-S77E (siehe Abb. 3a.), in dessen Bildebene sich ein $6,4 \times 4,8 \text{ mm}^2$ grosser Farbsensor befindet. Das aufgezeichnete Bild wird auf einem handelsüblichen S-VHS-Tape analog abgespeichert und zur



a. Kamera



b. Originalaufnahme

Abb. 3: Camcorder JVC GR-S77E.

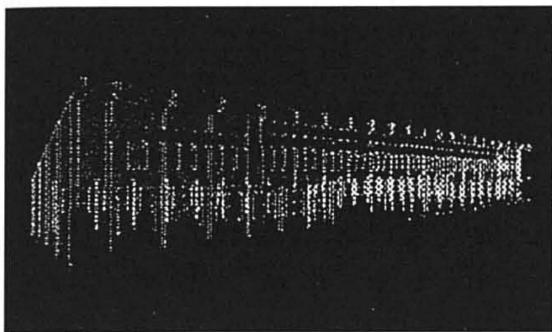
Weiterverarbeitung mit einem Framegrabber digitalisiert. Das digitalisierte Messbild (siehe Abb. 3b.) hat eine Grösse von 728×568 Pixel.

Beim aufgenommenen Objekt handelt es sich um die provisorische Erweiterung für Zeichensäle der ETH Hönggerberg in Zürich. Es wurde von den Architekten Huber, Bolli und Gerber entworfen und im Jahre 1987 erstellt (Blättler, 1989). Das Gebäude ist aus vorfabrizierten Teilen zusammengesetzt, die demontier- und wiederverwendbar sind, und hat ein Messvolumen von $55 \times 11 \times 8$ m³. Mit der Videokamera wurde einmal um das Objekt herumgegangen und dabei ein «Film» gedreht. Anschliessend wurden von diesem Film 22 Bilder digitalisiert.

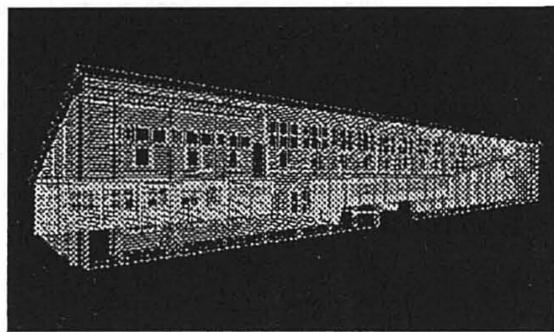
Bei der photogrammetrischen Analyse wurden die Objektkoordinaten und die Kamerastandpunkte sowie die Orientierung der Kamera im Raum bestimmt. Die geometrischen Punktinformationen wurden durch Bestimmung der theoretischen Punktgenauigkeit verifiziert. Die Genauigkeit der Objektpunkte beträgt 1,3 cm in den Fassadenebenen und 2,4 cm senkrecht dazu (ungefähr in Aufnahmerichtung). Abbildung 4 gibt zentralperspektive Darstellungen des photogrammetrisch gewonnenen CAD-Modells wieder.

4. Photogrammetrische Oberflächenbestimmung mit strukturiertem Licht

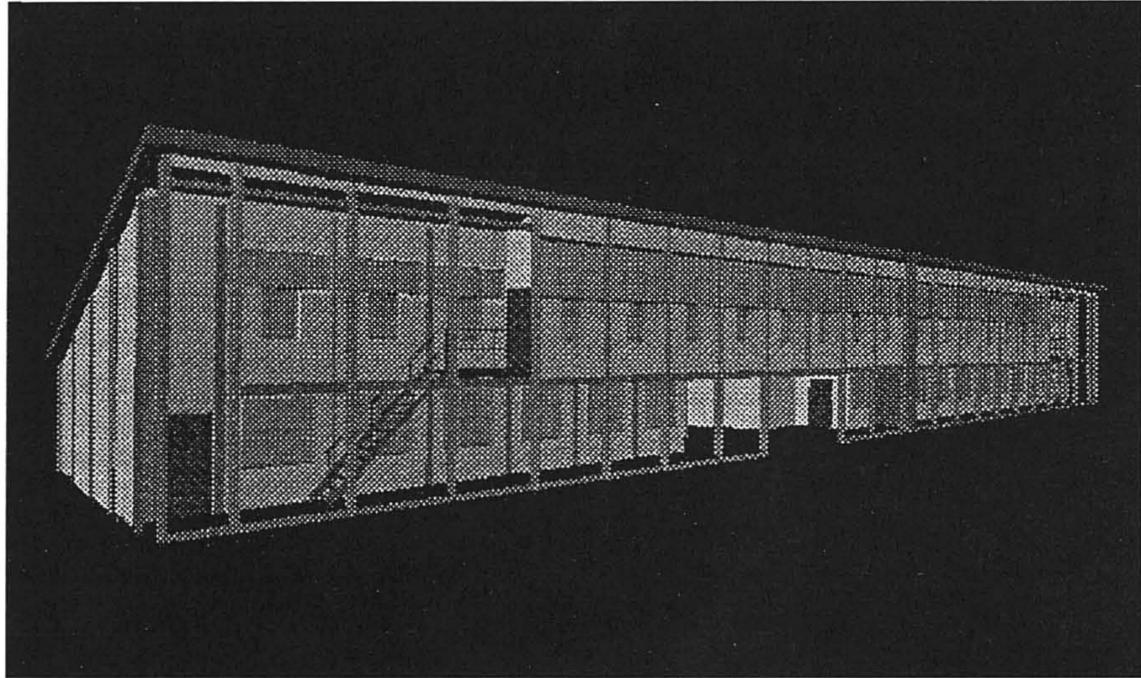
Die automatische, berührungslose Vermessung von Oberflächen verschiedenster Objekte z.B. aus Industrie, Medizin oder Kultur ist eines der wichtigsten Anwendungsbereiche des maschinellen Sehens oder der digitalen Nahbereichsphotogrammetrie. Eine Vielzahl von Methoden ist in den letzten 10–20 Jahren entwickelt worden (für einen Überblick siehe z.B. Maas, 1992), welche sich in ihrer Leistungsfähigkeit und Anwendbarkeit zum Teil beträchtlich unterscheiden. Da die zu messenden Oberflächen häufig wenig



Objektpunkte



Drahtmodell (Wireframe)



Oberflächenmodell (Digital Surface Model, DSM)

Abb. 4: Photogrammetrisch generiertes CAD-Modell.

oder gar keine Textur aufweisen, arbeiten viele der Methoden mit strukturiertem Licht, dessen Information aktiv oder passiv genutzt wird; als projiziertes Muster werden dabei häufig Punkte oder Linien, manchmal auch Zufallsmuster benutzt.

Im Rahmen dieser Veröffentlichung sei ein Oberflächenmodell einer Büste Ludwig van Beethovens gezeigt, welches im Rahmen einer Diplomarbeit an der ETH Zürich gemessen wurde (Zanini, 1991). Ziel der Arbeit war, bei der automatischen Oberflächenvermessung soweit wie möglich auf vorhandene Hardware und Softwaremodule zurückgreifen zu können. Aus diesem Grunde wurde mit einem Diaprojektor ein regelmässiger Punktraster auf die Oberfläche projiziert und mit vier CCD-Kameras aufgenommen.

Die Oberflächenbeschaffenheit dieser Büste aus mattweissem Gips erwies sich als recht angenehm für die Musterprojektion, die Oberflächenform

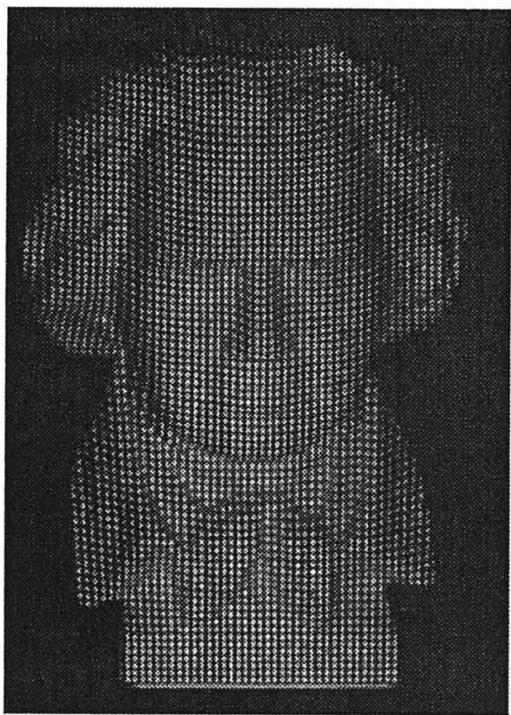


Abb. 5: Büste mit projiziertem Punktraster.

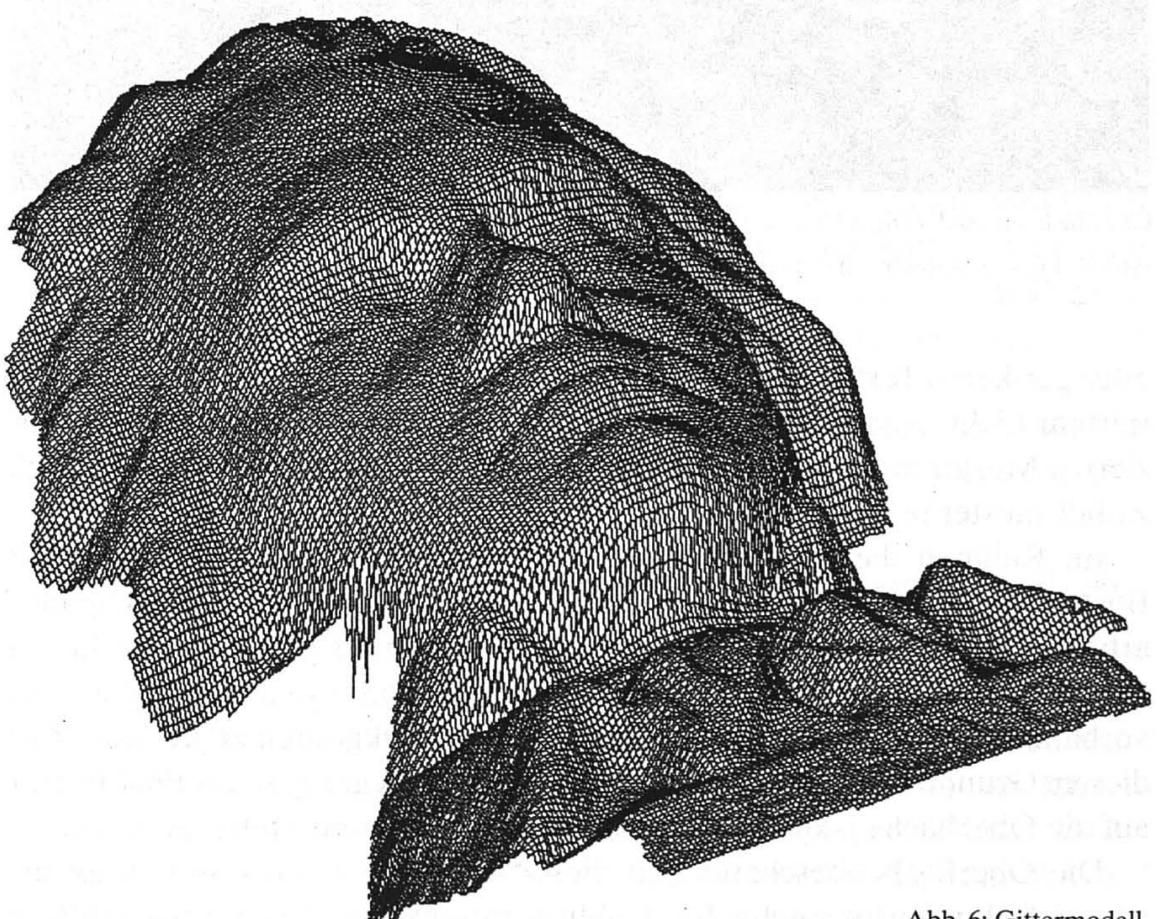


Abb. 6: Gittermodell.

kann dagegen als relativ komplex angesehen werden: Zur kompletten Erfassung der Büste von allen Seiten waren insgesamt 48 Aufnahmen mit Projektion von 12 Standorten notwendig. Die Interaktion des Benützers beschränkt sich bei dem hier verwendeten System auf die Orientierung der Aufnahmen, während die eigentliche Oberflächenmessung mit Methoden der digitalen Bildverarbeitung und der digitalen Photogrammetrie vollautomatisch erfolgt (Maas/Zanini, 1992). Abbildung 5 zeigt die Büste mit einem projizierten Punktraster. Der gesamte Oberflächendatensatz besteht aus 43000 projizierten Punkten. Als Ergebnis sei hier ein aus einem Teildatensatz mit 18000 Punkten abgeleitetes Gittermodell gezeigt (Abb. 6). Das Genauigkeitspotential der Methode ist recht hoch: Der mittlere Fehler der gemessenen Einzelpunkte liegt bei 0,05 mm (bei einer Büste von ca. 25 cm Höhe).

5. Literaturverzeichnis

- Blättler, E., 1989: Neue Architektur in Zürich – ausgewählte Objekte ab 1920. Niggli-Verlag, Heiden 1989, S. 72–73.
- Döhler, M., 1977: Photogrammetrische Bestandsaufnahme kulturhistorischer Objekte – Erfahrungen und Vorschläge. Architekturphotogrammetrie III, Arbeitsheft 18, Landeskonservator Rheinland, Rheinland-Verlag, Köln 1977, S. 53–71.
- Gaschen, S., Maas, H.-G., Streilein, A., 1994: Einsatz der Photogrammetrie beim Kulturgüterschutz im Jemen. Vermessung/Photogrammetrie/Kulturtechnik, 4/1994.
- Jänsch, R., 1976: Genauigkeitsansprüche bei der photogrammetrischen Bauaufnahme. Architekturphotogrammetrie II, Arbeitsheft 17, Landeskonservator Rheinland, Rheinland-Verlag, Köln 1976, S. 103–108.
- Jordan, Eggert, Kneissl, 1972: Handbuch der Vermessungskunde, Band IIIa/1, Photogrammetrie, Stuttgart 1972, S. 25ff.
- Maas, H.-G., 1992: Schnelle Oberflächenvermessung mittels optischer Sensoren. In Matthias/Grün (Hg.): Ingenieurvermessung 92, Dümmler Verlag, Karlsruhe.
- Maas, H.-G., Zanini, M., 1992: Photogrammetrische Oberflächenbestimmung mit strukturiertem Licht. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 8–9/1992, S. 343.
- Streilein, A., 1994: Towards Automation in Architectural Photogrammetry: CAD-Based 3D Feature Extraction. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 49 (5), S. 4–15.
- Streilein, A., Beyer, H., 1992: Digitale Architekturphotogrammetrie und CAAD. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten (AVN), 99. Jg. Heft 8–9, August/September 1992, Wichmann-Verlag, Karlsruhe, S. 363–373.
- Waldhäusl, P., Brunner, M., 1989: Architectural Photogrammetry World-wide and by Anybody with Non-metric Cameras? Proceedings of XI. International Symposium of CIPA (International Committee of Architectural Photogrammetry), Sofia, October 4–7, 1988, S. 35–49.
- Zanini, M., 1991: Oberflächenbestimmung mit strukturiertem Licht. Diplomarbeit, Abteilung Kulturtechnik und Vermessung, ETH Zürich.