

**Zeitschrift:** Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

**Herausgeber:** Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

**Band:** 92 (1994)

**Heft:** 8

**Artikel:** Einsatz der Photogrammetrie beim Kulturgüterschutz im Jemen : Vergleich verschiedener Auswertemethoden

**Autor:** Gaschen, S. / Maas, H.-G. / Streilein, A.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-235086>

### **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:** 25.01.2026

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

# Einsatz der Photogrammetrie beim Kulturgüterschutz im Jemen

## Vergleich verschiedener Auswertemethoden

S. Gaschen, H.-G. Maas, A. Streilein

Architekturaufnahmen zählen zu den ältesten Anwendungen der Photogrammetrie. Sie dienen sowohl der Erstellung von Planungsunterlagen z.B. für Renovationen, Umbauten oder Sanierungen, als auch der Dokumentation, d.h. der Bestandes- und Zustandserfassung von Gebäuden. An einem Objekt des Kulturgüterinventars der UNESCO im Jemen werden verschiedene photogrammetrische Auswertemethoden beschrieben und verglichen.

*Le relevé des objets architecturaux est une des plus anciennes applications de la photogrammétrie. Il sert aussi bien à l'élaboration de plans pour des rénovations, des transformations ou des assainissements qu'à l'établissement d'une documentation relative à l'inventaire et à l'état des bâtiments. L'article qui suit décrit et compare plusieurs méthodes de restitution photogramétriques appliquées à un immeuble qui se trouve au Yémen et qui fait partie du «Patrimoine Mondial» de l'UNESCO.*

### 1. Einleitung

Sana'a, die Hauptstadt des Jemen, gilt als eine der ältesten Städte der Welt. Ihre faszinierende Altstadt mit den markanten Turmhochhäusern, oft als die «Perle von Arabien» bezeichnet, ist jedoch akut vom Zerfall bedroht (Lewcock, 1986). Aufgrund ihrer historischen und kulturellen Bedeutung wurde die Altstadt Sana'as 1980 von der Unesco zum Kulturerbe der Menschheit erklärt (Dallas, Carbonell, 1992). Die Kosten für den Ausbau und die Verbesserung der Infrastruktur, für Sanierungen und Massnahmen im sozio-kulturellen Bereich wurden auf über 210 Mio. \$ geschätzt. Da dies die finanziellen Möglichkeiten des Jemen übersteigt, wurden im Rahmen einer Kampagne «Preservation of cultural heritage of mankind» von einer Reihe von Staaten Projekte zur Sanierung der Altstadt begonnen. Für die Schweiz hat die nationale Kulturstiftung «Pro Helvetia» ein Gebäude, das «Beit al-ambassi» («Löwenhaus»), übernommen. Das Haus liegt an hervorragender Lage mitten in den Suqs (Märkten) von Sana'a. Mit einem geschätzten Alter von etwa 500 Jahren gehört es zu den ältesten Wohnhäusern der Altstadt. Das fünfstöckige Gebäude ist, wie in Sana'a weit verbreitet, im unteren Teil aus Steinquadern, darüber mit Lehmziegeln gebaut. Da das Haus seit einiger Zeit nicht mehr bewohnt und unterhalten wurde, verschlechterte sich sein Zustand rapide. Insbesondere die Mauerkronen und Flachdächer wiesen zu Beginn des Projektes im Jahre 1991 erhebliche Schäden auf. Neben der Restaurierung und Überführung in eine neue Nutzung ist eine baugeschichtlich-archäologische Untersuchung des Gebäudes, sowie eine begleitende städtebaulich-soziologische

Studie der mittelalterlichen Stadt Sana'a im Pro Helvetia-Projekt enthalten. Zur Dokumentation des Originalzustandes und als Planungsgrundlage für die Renovierungsarbeiten wurde eine photogrammetrische Aufnahme aller Fassaden als zweckmässig erachtet. Die Aufgabe stellte sich im weiteren Verlauf als äusserst komplex dar. So besteht das Gebäude aus 17 Einzelfassaden, die eine enge Verschachtelung aufweisen und zum Teil sehr schlecht zugänglich sind. Enge Gassen und hohe Nachbargebäude verunmöglichen die vollständige Abbildung vieler Fassaden auf einer einzigen Aufnahme. Neben diesen rein technischen Problemen sind auch die Sitten und Gebräuche des fremden Landes zu berücksichtigen, was z.B. zu stundenlangen Diskussionen für die Erlaubnis zum Photographieren von einem Nachbardach aus führen kann.

Das Ziel der photogrammetrischen Aufnahme und Auswertung ist eine vollständige steingerechte Kartierung sämtlicher Fassaden.

### 2. Die photogrammetrischen Aufnahmen vor Ort

Die Aufnahmen wurden mit einer Mittelformatkamera Rolleimetric 6006 und Objektiven verschiedener Brennweiten (40/50/80 mm) durchgeführt. Die eingesetzte Kamera ist mit einer Glasplatte versehen, die acht Rahmenmarken enthält und zwei



Abb. 1: Das «Beit al-ambassi» in Sana'a.

schen Objektiv und Film gelagert ist. Mit Hilfe der Rahmenmarken ist eine rechnerische Wiederherstellung der inneren Orientierung möglich, und die Kamera kann zusammen mit kalibrierten Objekten als Teilmesskammer (Wester-Ebbinghaus, 1983) eingesetzt werden.

Aufgrund der engen Platzverhältnisse kam fast nur das 40 mm Weitwinkelobjektiv zum Einsatz. Die Passpunkte an den Fassaden wurden im Hinblick auf eine modellweise Auswertung geodätisch bestimmt. Als Aufnahmemedien wurden s/w-Filme verwendet, die vor Ort entwickelt wurden. Für die Modelle der detailreichen Hauptfassaden kam zusätzlich Diapositivfilm zum Einsatz, was dem Operateur die Auswertung und Interpretation erleichtert. Die verschachtelte Struktur des Gebäudes erforderte zum Teil sehr ungünstige Aufnahmekonfigurationen sowie stark konvergente Stereopaare, steile Visuren und Aufnahmen schräg zur Fassade.

## 3. Photogrammetrische Auswertung

### 3.1 Auswertung am analytischen Plotter

Der erste Teil der Auswertung erfolgte mit dem analytischen Plotter MPS 2 (Abb. 2) der Firma Adams Technology. Beim MPS 2 handelt es sich um ein sogenanntes «low-cost» Stereoauswertegerät, das im wesentlichen alle Merkmale eines analytischen Plotters besitzt. Bedingt durch die Grösse der Bildträger ist das Bildformat jedoch auf 6 × 6 cm beschränkt. Die Messgenauigkeit des MPS 2 für Bildkoordinaten liegt unter 10 µm. Das Gerät ist über die serielle RS-232-Schnittstelle mit einem Personal Computer verbunden und über ein Interface für die Kartierung in AutoCAD nutzbar. Infolge der hohen Datenmengen bei den Hauptfassaden wurde die Leistung des angeschlossenen PC's voll in Anspruch genommen, was zu hohen Rechenzeiten führte. Nach Fertigstellen der Kartierung wurden die AutoCAD-Daten zu Editierzwecken auf eine Sun-Workstation übertragen, die eine erheblich bessere Rechenleistung aufweist. Ein Beispiel für eine am MPS 2 mit AutoCAD

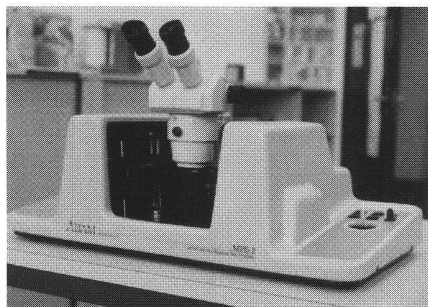


Abb. 2: Analytisches Auswertegerät MPS2.

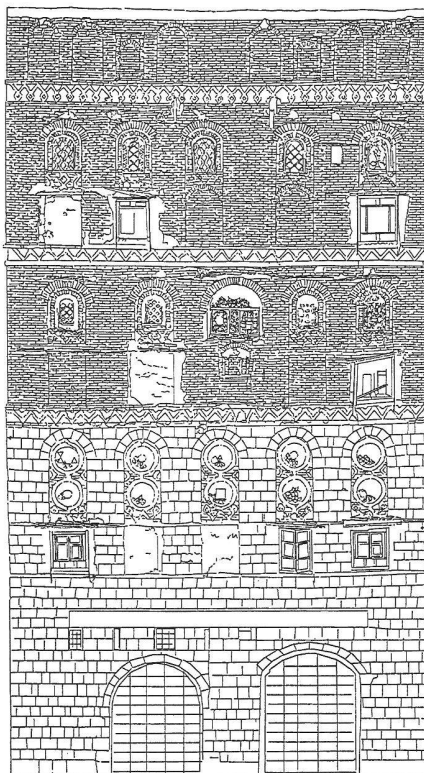
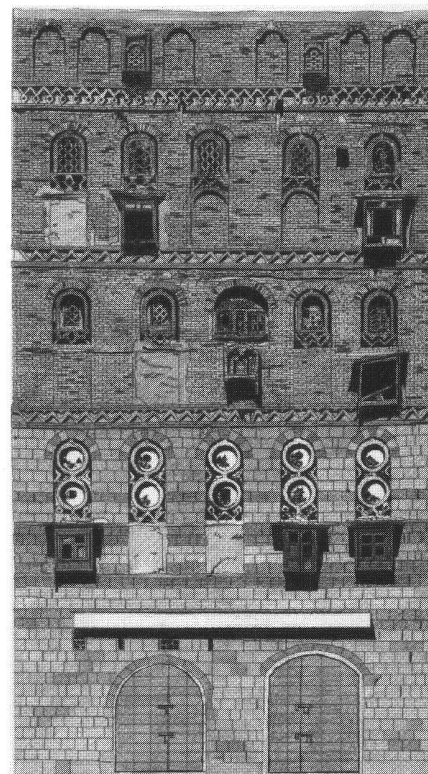


Abb. 3: Am MPS2 kartierte Hauptfassade. Links die Linienkartierung in AutoCAD, rechts ein handcoloriertes Endprodukt.



ausgewertete Fassade zeigt Abbildung 3. Der Zeitaufwand für eine Kartierung betrug ca. 95 Stunden.

### 3.2 Analogentzerrungen

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 grösseren Vorsprünge aufweisen, Entzerrungen durchzuführen. Da auch diese Fassaden nicht total eben sind (Verzierungs-elemente, kleine Vorsprünge), ist man gezwungen, bei solchen Elementen einen Lagefehler in der Kartierung zu akzeptieren. Nach Jänsch (1976), liegt ein plausibler Wert für den zulässigen örtlichen Lagefehler bei Ableitung der Fassadenmasse aus Entzerrungen bei 3 cm. Dies dürfte zum Teil der Definitionsgenauigkeit für Kanten und Linien an diesem Gebäude überhaupt entsprechen, die geringer ist als gemeinhin angenommen wird. Die zulässigen Tiefendifferenzen  $\Delta Y_{zul}$  werden in Bruchteilen der Massstabszahl  $m_k$  des Entzerrungsmaßstabes angegeben. Für Weitwinkelbilder führt dies zu

$$\Delta Y_{zul} = \pm 0.3 \cdot m_k$$

Für die Entzerrungen, welche meistens im Bereich von  $m_k = 200$  lagen, ergab dies folglich ein  $\Delta Y_{zul}$  von  $\pm 6$  cm am Objekt. Da die meisten Vorsprünge der Rückfassaden im Bereich von 5 cm lagen, konnte diese Forderung eingehalten werden.

In gleicher Weise gelten die Ebenheitsforderungen natürlich auch für den Träger des photographischen Bildes, den Film. Auf eine entsprechende Untersuchung wurde im vorliegenden Fall verzichtet, da die durch die Objektivverzerrung hervorgerufenen Fehler unberücksichtigt blieben und grössere Beträge aufwiesen (gemäss Kalibrierungsprotokoll bis zu 2/10 mm) als die zu erwartenden Fehler durch Filmunebenheiten.

Die Entzerrungen wurden am SEG 6 (Abb. 4) der Fachhochschule Karlsruhe durch-

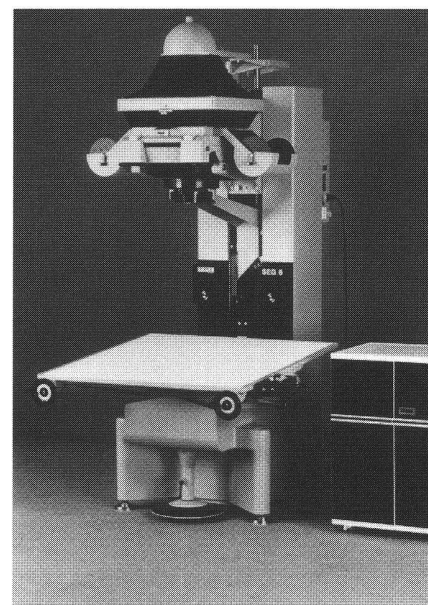


Abb. 4: SEG 6.



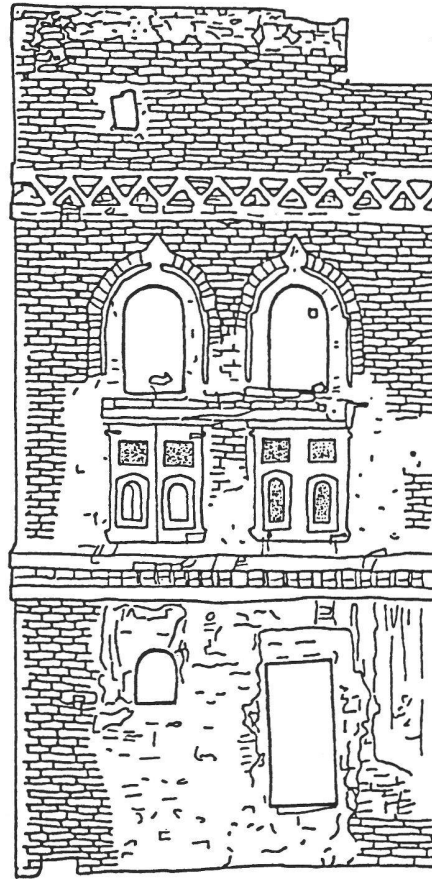
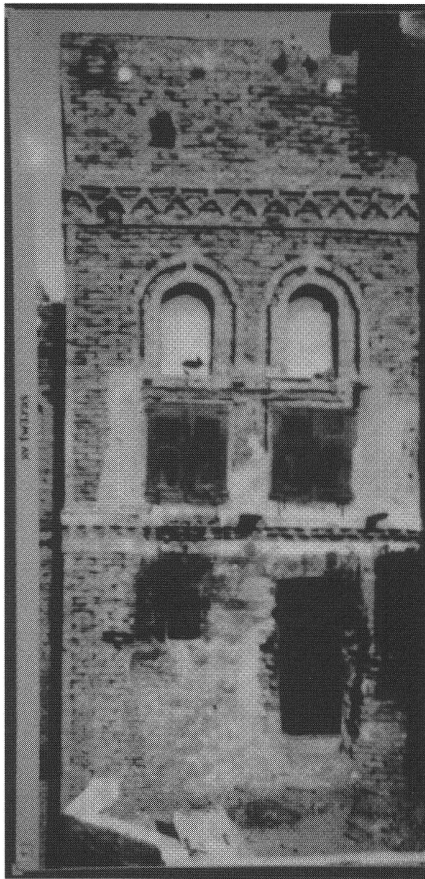


Abb. 5: Entzerrung (links) und steingerechte Handzeichnung (rechts).

geführt. Schräge Visuren in Verbindung mit dem verwendeten kurzbreitweitigen Objektiv der Aufnahmekammer führten in einigen Fällen dazu, dass die Tischneigungen des Entzerrungsgerätes nicht ausreichten und mehrmaliges Umbilden der Aufnahmen nötig wurde. Die steingerechte Kartierung dieser Fassaden erfolgte anschliessend durch Hochzeichnen der massstäblichen Entzerrungen (Abb. 5).

### 3.3 Digitale Entzerrung

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 x 16 cm Grösse mit einer Auflösung von 25 µm gescannt und digital weiterverarbeitet. Das Anfertigen eines Papierabzugs war notwendig, da der benutzte Scanner (Optonics 5040) nur lichtundurchlässige Medien digitalisieren kann.

Bei der digitalen Entzerrung handelt es sich um eine rein rechnerische Aufgabe (Jordan, Eggert, Kneissel, 1982): 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 ebe-

nen räumlichen Koordinaten der Passpunkte. Wie bei der analogen Entzerrung sind auch hier mindestens vier Passpunkte erforderlich. Es gelten folgende Gleichungen für den Zusammenhang zwischen Koordinaten (x,y) eines Bildpunktes und den Koordinaten (X,Y) eines Objektpunktes:

$$x = \frac{(b_{11}X + b_{12}Y + b_{13})}{(b_{21}Y + b_{31}X + 1)}$$

$$y = \frac{(b_{21}X + b_{22}Y + b_{23})}{(b_{21}Y + b_{31}X + 1)}$$

Die Transformationsparameter  $b_{ij}$  lassen sich mit den vier Passpunkten bestimmen. Sind mehr als vier identische Punkte vorhanden, so führt dieselbe Gleichung zu einem Ausgleichungsproblem, z.B. nach der Methode der Kleinsten Quadrate. 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 das mehrere Entzerrungsschritte durchgeführt werden müssen.
- Zur Kompensation der Objektivverzerrung bestehen vielfältige Möglichkeiten.
- 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. Da als Ergebnis eine steingerechte Kartierung der Fassaden gewünscht wurde, lag es nahe, eine derartige Strichzeichnung mit Hilfe einer Kan-

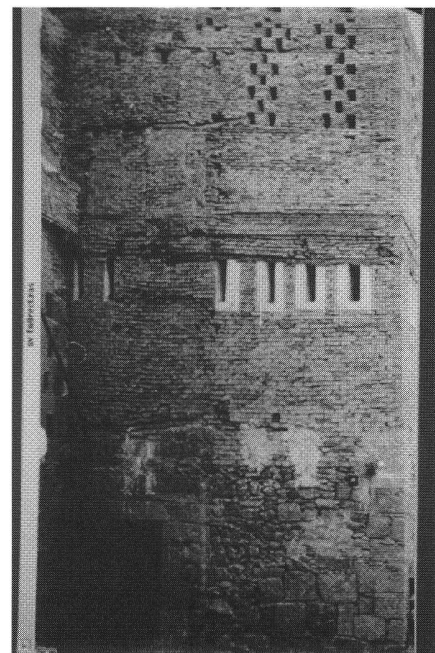
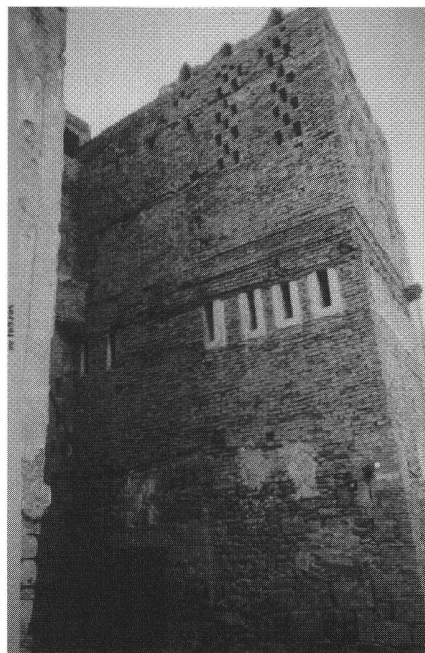


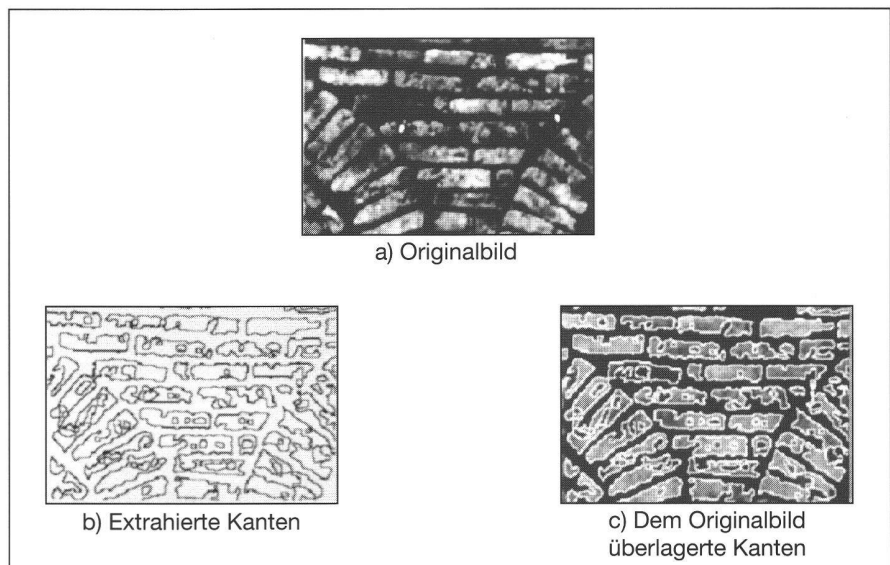
Abb. 6: Gescanntes Originalbild und digitale Entzerrung.

tenextraktion zu generieren. In der Literatur zur digitalen Bildverarbeitung ist eine grosse Anzahl von Kantenoperatoren beschrieben worden. Ein Beispiel ist der in KHOROS (Public domain Software der University of New Mexico, Albuquerque, USA) implementierte Kantenoperator, der im folgenden kurz erläutert wird: Eine Kante im Bild wird mit Hilfe des Gradienten der lokalen Intensitätsunterschiede des Bildsignals charakterisiert. Jedem Bildelement (Pixel) wird ein Gradientenwert zugeordnet, der einen Betrag und eine Richtung aufweist. In homogenen oder nahezu homogenen Bildbereichen ist der Betrag des Gradienten gleich null oder sehr klein, während er im Bereich einer Bildkante einen grossen Betrag aufweist. Der Gradientenbetrag allein reicht aber nicht aus, um eine Kante zu charakterisieren, da ja z.B. ein Bildbereich mit starker Oberflächenstruktur auch viele Punkte mit grossem Betrag des Gradienten aufweist. Hier sind allerdings die Richtungen mehr oder weniger zufällig verteilt. Deshalb verlangt man von einer Kante zusätzlich, dass sie sich in einem bestimmten Bildausschnitt durch eine Vorzugsrichtung des Gradienten auszeichnet, also kontinuierlich verläuft. Die Bildung von Gradienten reagiert sehr empfindlich auf Bildrauschen. Um diesen überlagerten «Noise» zu reduzieren, wird dem Bild ein Gauss'scher Glättungsfilter überlagert.

Die Kantenextraktion läuft im wesentlichen so ab:

1. Tiefpassfilterung zur Glättung des Bildes: Verbesserung des SNR (Signal Noise Ratio)
2. Extraktion der Gradienten
3. Binarisierung des kantenextrahierten Bildes mit einem Schwellwertverfahren. Dabei wird logisch zwischen Kantenbereichen und keinen Kantenbereichen unterschieden.

Da der Algorithmus das Bild global bearbeitet und sämtliche Grauwertunterschiede gleich behandelt, ergibt sich eine Fülle von Details, die eine einwandfreie Interpretation erschweren können. Abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit des Objekts, der Bildqualität des Originals und der Auflösung, mit der das Bild gescannt worden ist, liefert die Kantenextraktion gute Ergebnisse. Zudem kann das Resultat mit einer guten Wahl der Extraktionsparameter (minimale Kantenlänge, Grauwertschwellenwert etc.) wesentlich beeinflusst werden. In einem nächsten Schritt können nun die extrahierten Kanten mit einer geeigneten Software vektorisiert, d.h. in Linienelemente umgewandelt werden, z.B. in einem DXF-Format in AutoCAD eingelesen und dort weiterverarbeitet werden. Probleme bieten hier wiederum die grossen Datenmengen, die sich bei fein strukturierten Objekten ergeben.



**Abb. 7: Ein Beispiel zur Kantenextraktion.**

Generell ist zu sagen, dass sich die Verwendung von Kantenextraktionsalgorithmen in der Architekturphotogrammetrie noch in der Entwicklungsphase befindet.

## Bewertung

Im Rahmen dieser Arbeit konnten einige Erfahrungen mit Aufwand und Akzeptanz verschiedener Methoden der Architekturphotogrammetrie gewonnen werden.

Die Funktionalität des MPS 2 für das Kartieren der Fassaden in AutoCAD kann als gut beurteilt werden, solange das maximale Bildformat von 6 x 6 cm keine starke Einschränkung darstellt. Aufgrund der sehr kleinen Ausmasse und der Schnittstelle zum PC kann der MPS 2 nötigenfalls sogar vor Ort eingesetzt werden. Es scheint jedoch etwas fraglich, ob sich der hohe Aufwand für eine stereoskopische steingerechte Kartierung derart feiner Strukturen auszahlt. Bei weitgehend ebenen Fassaden und gegebenen hardwareseitigen Voraussetzungen (digitale Kamera oder Scanner, hochauflösendes Ausgabemedium) nimmt die digitale Entzerrung wesentlich weniger Zeit in Anspruch, wobei unter Umständen der Informationsgehalt sogar höher sein kann als bei einer Strichzeichnung und die Daten dem Kunden zur hardwareunabhängigen Interpretation zur Verfügung gestellt werden können. Vorsprünge in der Fassade, wie z.B. die Erker in der Abbildung 1, können dabei bei vorhandener Software besonders berücksichtigt werden (differentielle Entzerrung). Der Anwendungsbereich für Analogentzerrungen dagegen ist stark eingeschränkt und hängt im wesentlichen vom verwendeten Objektiv und der Grösse der Drehwinkel zwischen Objektebene und Bildebene ab.

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass mit den aufkommenden digitalen Möglich-

keiten der rechnerischen Entzerrung gegenüber der analogen Entzerrung der Vorrang zu geben ist, sowohl im Hinblick auf die Verfügbarkeit und Kosten der Hardware, als auch auf die vielfältigen Möglichkeiten zur Darstellung und Verarbeitung der Ergebnisse.

## Literaturhinweise:

Lewcock, R.: The old walled city of Sana'a, UNESCO, Paris 1986.

Dallas, R., Carbonell, M.: World Heritage Sites – Photogrammetric Records, IASPRS Vol. 29, Part B5, 1992, pp 419–426.

Wester-Ebbinghaus, W.: Ein photographisches System für Sonderanwendungen, Bildmessung und Luftbildwesen 51, Heft 3, 1983, S. 118–128.

Jänsch, R. D.: Genauigkeitsansprüche bei der photogrammetrischen Bauaufnahme. Landeskonservator Rheinland, Architekturphotogrammetrie II, 1976, S. 103–108.

Jordan, Eggert, Kneissl: Handbuch der Vermessungskunde, Band IIIa/1, Photogrammetrie, Stuttgart, 1972, S. 25ff.

## Adresse der Verfasser:

Stephan Gaschen  
Hans-Gerd Maas  
André Streilein  
Institut für Geodäsie und  
Photogrammetrie  
ETH-Hönggerberg  
CH-8093 Zürich