

**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:** 96 (1998)

**Heft:** 12

**Artikel:** Rasche Dokumentation von Erdbebenschäden mit digitaler Photogrammetrie

**Autor:** Streilein, André

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-235502>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 20.02.2025

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

# Rasche Dokumentation von Erdbebenschäden mit digitaler Photogrammetrie

Wie nach allen Katastrophen ist man auch nach Erdbebenereignissen bemüht schnell und richtig zu handeln. Hierbei ist insbesondere die Beurteilung des aktuellen Gebäudeszustands von Interesse. An einem durch ein Erdbeben beschädigtes Gebäude in der Stadt Dinar wird die Vorgehensweise mit digitaler Photogrammetrie beschrieben. Mit einer handelsüblichen Still-Video-Kamera und entsprechender photogrammetrischer Software lassen sich bei einer sehr kurzen Verweildauer vor Ort sehr präzise Ergebnisse erzielen. Darüber hinaus lassen sich die photogrammetrisch erzielten Resultate auf einfache Art und Weise automatisch in Repräsentationen überführen, die dem Bauingenieur oder dem jeweiligen Entscheidungsträger schnell umfassenden Aufschluss über den baulichen Zustand des Gebäudes liefert.

*Comme c'est le cas après chaque catastrophe, lors d'un tremblement de terre aussi, on tente d'agir juste et rapidement. Dans ces circonstances, il est intéressant notamment de connaître l'état des bâtiments. Ci-après on décrit comment on a procédé, par voie de photogrammétrie digitale, sur un bâtiment détruit par un tremblement de terre dans la ville de Dinar. Les résultats obtenus par une caméra vidéo Still ordinaire et un logiciel photogramétrique approprié sont très précis et ceci malgré un temps d'intervention très bref sur les lieux du sinistre. En plus de cela, les résultats obtenus par photogrammétrie peuvent être représentés sur écran automatiquement et de façon très simple ce qui permet de donner à l'ingénieur civil ou aux décideurs un aperçu rapide et complet de l'état constructif du bâtiment.*

Anche dopo i terremoti, come per le altre catastrofi naturali, si tenta di intervenire con rapidità ed adeguatezza. Qui di seguito viene valutato, in particolare, lo stato attuale degli edifici. Partendo da uno stabile nella città di Dinar, danneggiato dal terremoto, si descrive il processo applicato con la fotogrammetria digitale. Tramite una comune videocamera e il relativo software fotogrammetrico è possibile ottenere dei risultati molto precisi, rimanendo per pochissimo tempo sul posto. Inoltre, i dati fotogrammetrici raccolti sono automaticamente traducibili in preziose informazioni sullo stato dell'edificio, che rivestono una portata significativa per l'ingegnere civile o gli addetti ai lavori.

A. Streilein

## 1. Einleitung

Erdbeben stellen seit jeher eine Bedrohung und Gefährdung von Menschen dar. Immer wieder wurden und werden bewohnte Gebiete der Erde von Erdbeben erfasst und zerstört. Auch die anatolische Halbinsel gehört zu den erdbebengefährdeten Gebieten und wurde bereits von mehreren zerstörerischen Erdbeben heimgesucht. Eines der dramatischen Beispiele in diesem Jahrhundert ist das Erd-

beben, das im Dezember 1939 die Stadt Erzincan vollständig zerstörte. An einem Winterabend fanden über 32 000 Menschen unter den Trümmern ihrer Wohnungen den Tod. Die Stadt wurde nach diesem Unglück an einer anderen Stelle wieder aufgebaut, bis sich im März 1992 ein weiteres grosses Erdbeben in dieser Region ereignete, das mehrere Tausend Menschenleben forderte und grösste Sachschäden verursachte.

Nach jedem Erdbeben ist man bemüht, so schnell wie möglich neue Wohnungen für die Obdachlosen zu erstellen oder die wie-

der herzustellenden Bauten in sehr kurzem Zeitraum zu reparieren. Wie nach jeder Katastrophe ist es auch hier erforderlich, sehr rasch zu handeln. Damit nicht nur rasch sondern auch sinnvoll und effizient gehandelt werden kann, sollten die Entscheidungsträger über möglichst viele relevante Informationen verfügen, um die Varianten ihrer Entscheidungsmöglichkeiten beurteilen zu können.

Bei den Sanierungsarbeiten an erdbebengeschädigten Gebäuden sieht man sich vor das Problem der schnellen Bestimmung des Ist-Zustandes der Gebäude gestellt. Eine mangelhafte Bestimmung der Schäden und ihres Ausmasses infolge eines zu schnellen und überhasteten Handelns vor Ort bereitet allerdings später grosse Probleme bei der Vorbereitung und Durchführung des Sanierungsprojekts.

Der Einsatz der Photogrammetrie zur Dokumentation von Erdbebenschäden ist schon aus früheren Beispielen bekannt (z.B. Foramitti, 1980). Diese Studie untersucht die Möglichkeiten der photogrammetrischen Objektbestimmung zur raschen Vermessung der beschädigten Gebäude nach einem Erdbeben mit dem Ziel der Schadensinventarisierung und Deformationsmessung. Aus der Art der globalen Deformationen eines Gebäudes nach einem Erdbeben lassen sich sehr nützliche Informationen zur Prüfung der Berechnungs- und Bemessungsnormen in den erdbebengefährdeten Gebieten ableiten. Aus dem globalen Deformationszustand des Gebäudes können zudem Rückschlüsse auf das Gesamtverhalten des Gebäudes während des Erdbebens gezogen werden, bzw. die Risse und Deformationen an den Knotenpunkten geben auch Information über das Verhalten einzelner Elemente während des Schocks. Die daraus gewonnenen Informationen können auch später für bauliche Folgemassnahmen nützlich sein.

Im folgenden werden das Testobjekt, das eingesetzte photogrammetrische Aufnahmesystem, die photogrammetrische Auswertung und die Umsetzung der Resultate in eine für die Zustandsbeurteilung des Objekts geeignete Weise beschrieben.



Abb. 1: Stark beschädigtes Gebäude (Schulhaus) in Dinar.

## 2. Beispiel Dinar

Am 1. Oktober 1995 ereignete sich in Dinar im Südwesten Anatoliens ein Erdbeben der Stärke 6,0, das 94 Menschenleben und 250 Verletzte forderte. Der entstandene Sachschaden wurde auf ca. 5 Mio. US-Dollar geschätzt.

An einem teilweise zerstörten Gebäude im betroffenen Gebiet (Abb. 1) wurde die digitale photogrammetrische Bestandsaufnahme getestet und die gewonnenen Daten in einer für die bauingenieurtechnische Beurteilung gerechten Weise bereit gestellt.

Das betroffene Gebäude ist in einem Stahlbeton-Rahmenbauweise errichtet worden. Abbildung 2 zeigt einige Details der Schäden, die nach dem Erdbeben an diesem Gebäude aufgetreten sind. So sind vor allem in den Randbereichen die Geschosse teilweise um bis zu einem halben Stockwerk abgesackt (Abb. 2d).

Das Ziel der photogrammetrischen Aufnahme und Auswertung ist die numerische Erfassung der globalen Deformation des Gebäudes. Zu diesem Zweck wurden von dem Gebäude 77 digitale Aufnahmen gemacht.

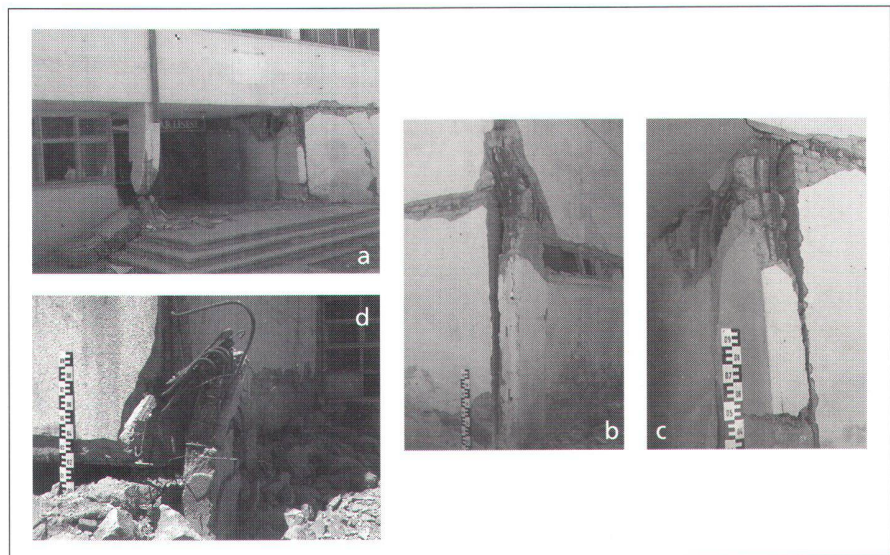


Abb. 2: Schäden am Schulhaus von Dinar.

## 3. Photogrammetrische Aufnahme

Die photogrammetrische Aufnahme des Gebäudezustands wurde mit einer handelsüblichen digitalen CCD-Kamera durchgeführt. CCD-Sensoren bestehen aus einer Vielzahl kleiner lichtempfindli-

cher Detektorelemente, die in einem festen Halbleiterbaustein zeilen- oder matrixförmig angeordnet sind. Jedes Sensorelement erzeugt proportional zur einfallenden Lichtmenge eine gewisse Menge elektrischer Ladung, die anschließend elektronisch aufbereitet und digitalisiert wird. Die direkte Akquisition von digitalen Bilddaten mit Halbleitersensoren besitzt eine Reihe von Vorteilen gegenüber der klassischen analogen Bildaufnahme. So unter anderem:

- direkter Datenfluss mit Online-Verarbeitungsmöglichkeit,
- hohes Automatisierungspotential,
- Unabhängigkeit vom Entwicklungsprozess,
- direkte Qualitätskontrolle,

- preiswerte Systemkomponenten.
- Hochauflösende Digitalkameras stellen eine Kombination einer herkömmlichen Kleinbild-Spiegelreflexkamera mit einem hochauflösenden CCD-Sensor anstelle des Films dar. Die Daten werden dabei direkt in digitaler Form im Kameragehäuse gespeichert. Wesentliche Vorteile eines solchen Komplettsystems ist die schnelle und handliche Bildaufnahme, da sie Bildakquisition, A/D-Wandlung, Speicherung und Stromversorgung in einem kombinieren, mit der Möglichkeit, die Bilder unmittelbar nach der Aufnahme an einen Rechner zu übertragen und dabei die Bildqualität zu überprüfen und sofort mit der photogrammetrischen Auswertung zu beginnen.

Die Testaufnahmen in der erdbebengeschädigten Stadt Dinar wurden mit einer Kodak DCS 200 (Abb. 3) durchgeführt. Die Kamera verfügt über die folgenden Kenndaten:

- Auflösung: 1536 x 1024 Pixel;
- Digitaler Output (SCSI Interface);
- Pixelgrösse: 9 x 9 µm;
- Sensorgrösse: 13,8 x 9,2 mm;
- Nikon N8008 Kamerabody mit einem 28-mm- und einem 18-mm-Objektiv;
- ISO Einstellungen von 100 bis 800;
- Speicherkapazität von 50 Bildern auf interner Harddisk.

Bedingt durch die relativ kleine Sensorfläche beträgt der abgebildete Ausschnitt weniger als die Hälfte desjenigen einer 35-mm-Kamera.

Für den photogrammetrischen Einsatz dieser Kamera ist es notwendig, die Abweichungen des benutzten Kamera- und Linsensystems von der Zentralprojektion durch zusätzliche Parameter zu berücksichtigen. In der digitalen Nahbereichsphotogrammetrie mit CCD-Sensoren hat sich der folgende Satz zusätzlicher Parameter als praktikabel erwiesen (Beyer; 1992).

x <sub>p</sub>	+0.079 [mm]	s <sub>x</sub>	-3.89 * 10 <sup>-6</sup> [-]
y <sub>p</sub>	+0.182 [mm]	a	+5.11 * 10 <sup>-5</sup> [-]
c	18.929 [mm]	k <sub>1</sub>	-2.25 * 10 <sup>-4</sup> [mm <sup>-2</sup> ]
		k <sub>2</sub>	+1.44 * 10 <sup>-7</sup> [mm <sup>-4</sup> ]
		k <sub>3</sub>	+5.09 * 10 <sup>-9</sup> [mm <sup>-6</sup> ]
		p <sub>1</sub>	-2.69 * 10 <sup>-6</sup> [mm <sup>-1</sup> ]
		p <sub>2</sub>	-5.07 * 10 <sup>-6</sup> [mm <sup>-1</sup> ]

Tab. 1: Zusätzliche Parameter aus der Testfeldkalibrierung.

warepaket DIPAD (Digital System for Photogrammetry and Architectural Design) durchgeführt. DIPAD wurde an der ETH Zürich entwickelt und ist bereits bei mehreren Gelegenheiten beschrieben worden (z.B. Streilein, 1994; Streilein, 1996). Das System ist zur semi-automatischen und CAD-gestützten Auswertung gebauter Architektur aus digitalen Bilddaten entwickelt worden.

Das Schulhaus von Dinar ist in einer Stahlbeton-Rahmenbauweise errichtet worden. Für die erste bautechnische Auswertung sind die einzelnen Deformationen der Rahmenpunkte entlang der einzelnen Geschosse an der Fassade zu bestimmen.

zenden Fensterrahmen automatisch bestimmt wurden und die Bildkoordinaten der Objektpunkte aus Geradenschnitten bestimmt wurden. Eine detaillierte Beschreibung des Verfahrens ist in (Streilein, 1996) gegeben.

Für den schnellen Einsatz an erdbebengeschädigten Gebäuden ist es von besonderem Interesse, die Massstabsinformation möglichst einfach und flexibel zu gewährleisten. In diesem Fall wurden für jede Fassade je zwei Lote in der Front des Gebäudes aufgehängt. Diese verfügten über markierte Punkte mit bekannten Abständen (Abb. 3).

Von dem gesamten Objekt wurden 77 Aufnahmen erstellt. Für die dreidimensionale Bestimmung der Objektkoordinaten der Beispielfassade (Abb. 4) wurden 16 Aufnahmen herangezogen. Als Massstabsinformation für die photogrammetrische Auswertung wurden vier vertikale

$$\Delta x = \Delta x_p - \frac{\bar{x}}{c} \Delta c - \bar{x} s_x + \bar{y} a + \bar{x} r^2 k_1 + \bar{x} r^4 k_2 + \bar{x} r^6 k_3 + (r^2 + 2\bar{x}^2) p_1 + 2\bar{x}\bar{y} p_2$$

$$\Delta y = \Delta y_p - \frac{\bar{y}}{c} \Delta c + \bar{x} a + \bar{y} r^2 k_1 + \bar{y} r^4 k_2 + \bar{y} r^6 k_3 + 2\bar{x}\bar{y} p_1 + (r^2 + 2\bar{y}^2) p_2$$

mit:

$\Delta x_p, \Delta y_p, \Delta c$  Änderung der Parameter der inneren Orientierung,  
 $s_x$  Skalierungsfaktor in x-Richtung,  
 $a$  Scherungsfaktor,  
 $k_1, k_2, k_3$  drei Parameter der radialen Verzeichnung,  
 $p_1, p_2$  zwei Parameter der Dezentrierungsverzeichnung,  
 $\bar{x} = x - x_p, \bar{y} = y - y_p, r^2 = \bar{x}^2 + \bar{y}^2$ .

Diese Parameter wurden für die verwendete Kamera vorgängig im Rahmen einer Testfeldkalibrierung bestimmt (Tab. 1).

## 4. Photogrammetrische Auswertung

Die photogrammetrische Auswertung der digitalen Bilddaten wurde mit dem Soft-

Abbildung 4 zeigt die für die weitergehende Analyse photogrammetrisch beobachteten 3D-Objektpunkte, die im wesentlichen den aktuellen Zustand der Stahlbeton-Rahmenbauweise nach dem Erdbeben beschreiben.

Die Bildkoordinaten der entsprechenden Objektpunkte wurden indirekt mit DIPAD bestimmt, indem die Kanten der begren-



Abb. 3: Kodak DCS 200.

Distanzen von den beiden Loten herangezogen.

Die 3D-Koordinaten von insgesamt 87 Objektpunkten auf der Fassade wurden bestimmt. Dazu wurden die Bildkoordinaten von 772 Bildpunkten nach dem oben beschriebenen Verfahren semiautomatisch bestimmt, d.h. jeder Objektpunkt ist im Mittel in ca. 9 Bildern beobachtet worden. Die 3D-Koordinaten der Objektpunkte wurden mit einer Bündelblockaufgleichung bestimmt. Der mittlere Fehler der Gewichtseinheit nach der Ausgleichung beträgt  $13.1 \mu\text{m}$ , was etwas mehr als einem Pixel entspricht. Die Genauigkeit der Objektpunkte im Raum ist durch die Standardabweichungen der Objektkoordinaten beschrieben. Diese beträgt  $1.6 \text{ cm}$  in X,  $1.2 \text{ cm}$  in Y und  $1.2 \text{ cm}$  in Z.

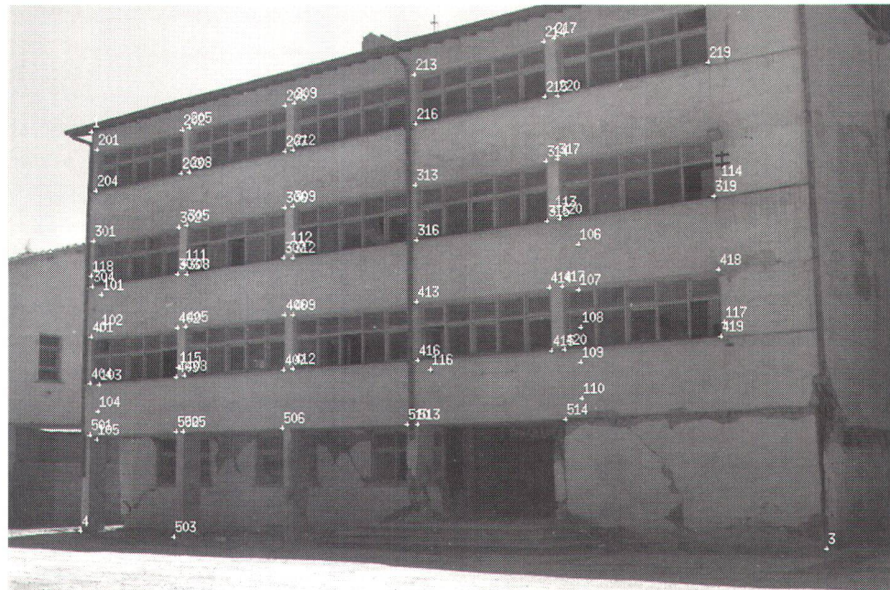


Abb. 4: Auswahl der beobachteten Objektpunkte.

## 5. Beurteilungskriterien für den Gebäudezustand

Für die bauingenieurtechnische Auswertung des Gebäudes sind aus den photogrammetrisch bestimmten, dreidimensionalen Koordinaten weitere Größen, wie absolute und relative Höhendifferenz, absolute und relative Tiefendifferenz und die Inklination in Tiefenrichtung bezogen auf die Fassadenebene abzuleiten (Altan, 1990).

Passpunkt-Lote definiert. Wenn man den undeformierten Zustand aufgenommen hätte, so könnte man die absoluten Verschiebungsvektoren und die daraus abgeleiteten Größen berechnen. So ist jedoch nur eine Berechnung der relativen Verschiebungen in Bezug auf die untere Punktreihe (Abb. 6a) und die linke Punktspalte (Abb. 6b) möglich.

In beiden Abbildungen wird die aktuelle Lage der Punkte in einem CAD-System wiedergegeben. Zusätzlich sind die Deformationsvektoren aus der Vertikalen

folgende Aussagen über die Restaurierbarkeit des Gebäudes sind nicht Gegenstand dieses Artikels.

Absolute Höhendifferenz:  $H_a(i) = Z(i) - Z(1)$

Relative Höhendifferenz:  $H_r(i) = Z(i) - Z(i - 1)$

Absolute Tiefendifferenz:  $D_a(i) = Y(i) - Y(1)$

Relative Tiefendifferenz:  $D_r(i) = Y(i) - Y(i-1)$

Inklination in Tiefenrichtung:  $\varphi = \text{atan} \frac{D_r(i + 1)}{dh} \quad dh = H(i + 1) - H(i)$

Diese Größen wurden für jeden Knotenpunkt entlang der drei Koordinatenachsen berechnet. Da man den undeformierten Zustand zum Zeitpunkt vor dem Erdbeben nicht kennt, wird angenommen, dass das Bauwerk tatsächlich exakt vertikal gebaut worden ist. Die vertikale Ebene wird in diesem Fall durch die zwei

angegeben. Zur besseren Sichtbarkeit sind diese in einer 100-fachen Vergrößerung dargestellt. Der erfasste Objektbereich hat eine Ausdehnung von ca.  $30 \times 7 \text{ m}$ . Die maximale Länge der Verschiebungsvektoren beträgt  $10 \text{ cm}$ .

Die bauingenieurtechnischen Untersuchungen des Gebäudes und die daraus er-

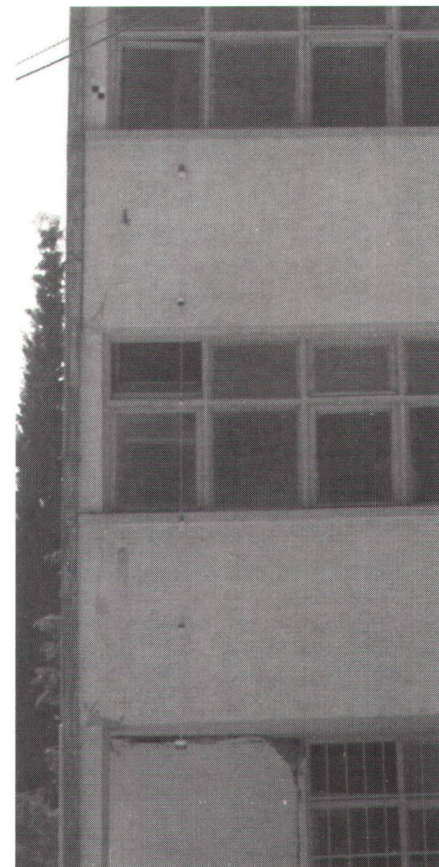
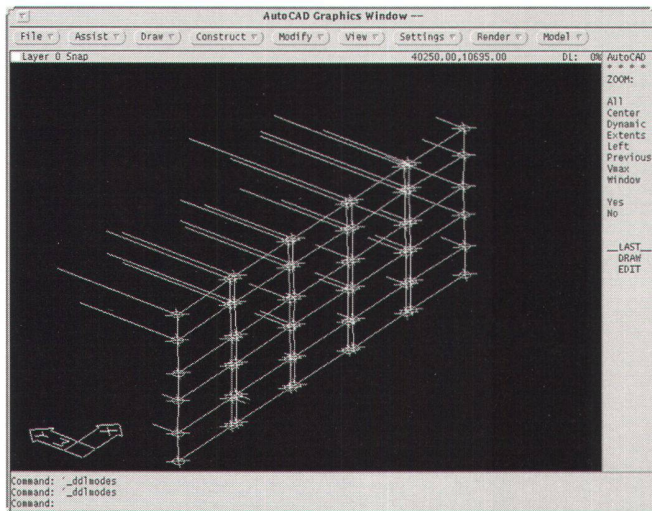
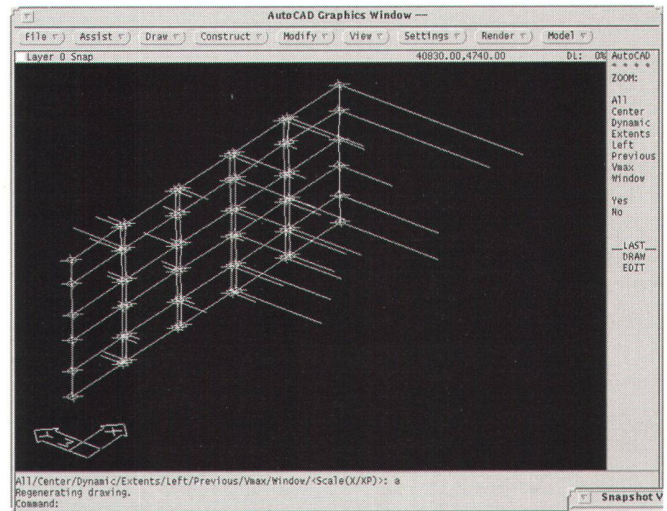


Abb. 5: Verwendetes Lot als Information über den Massstab und die Vertikale.



(a) untere Reihe als Referenz



(b) linke Spalte als Referenz

Abb. 6: Deformationsvektoren. Skalierung der Verschiebungsvektoren 100:1.

## 6. Schlussfolgerung

Die hier vorgestellten ersten Ergebnisse zeigen, dass die digitale Photogrammetrie sehr gut in der Lage ist, bei der Dokumentation von Erdbebenschäden rasche und präzise Ergebnisse zu liefern. Darüber hinaus lassen sich die photogrammetrisch erzielten Resultate auf einfache Art und Weise automatisch in Repräsentationen überführen, die dem Bauingenieur oder jeweiligen Entscheidungsträger rasch Aufschluss über den baulichen Zustand des Gebäudes liefert.

### Literatur:

- Altan, M., 1990. A Comparative Study for the Cost of Masonry and R/C Structures in Earthquake Zones. 9th European Conference on Earthquake Eng., Vol. 9, Moscow. S. 421–430.
- Beyer, H., 1992. Geometric and Radiometric Analysis of CCD-Camera Based Photogrammetric Systems. Dissertation ETH Nr. 9701, Zürich, 1992.
- Foramitti, H., 1980. Erdbebeneinsatz der terrestrischen Photogrammetrie in Friaul. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXIII, Part B5, S. 191–299.
- Streilein, A., 1994. Towards Automation in Architectural Photogrammetry: CAD-Based 3D-Feature Extraction. ISPRS Journal of Photo-

grammetry & Remote Sensing, Vol. 49 No. 5, October 1994, pp. 4–15.

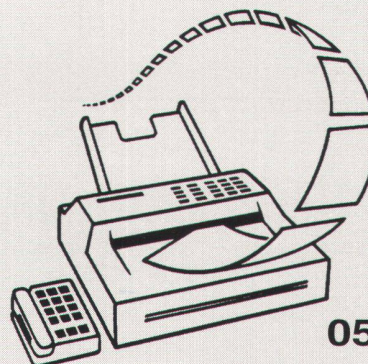
Streilein, A., 1996. Utilization of CAD models for the object oriented measurement of industrial and architectural objects. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXI, Part B5, Vienna 1996, pp. 548–553.

André Streilein  
 Institut für Geodäsie und Photogrammetrie  
 Eidgenössische Technische Hochschule CH-8093 Zürich  
 e-mail: andre@geod.ethz.ch

**Cherche  
 un micromètre à lame  
 plan-parallèle GPM3 pour un niveau  
 Wild NAK2.**

Prendre contact avec Jacques Salamin  
 tél. 027 / 346 44 24

## Suchen Sie Fachpersonal?



Inserate  
 in der VPK  
 helfen Ihnen.  
 Wenn es eilt,  
 per Telefax

**056 / 619 52 50**