

**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:** 93 (1995)

**Heft:** 4: ETHZ : Departement Geodätische Wissenschaften = EPFZ : Département des sciences géodésiques

**Artikel:** Photogrammetrische Punktbestimmung bei der Überwachung von Staumauern

**Autor:** Kersten, T. / Maas, H.-G. / Piezzi, K.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-235149>

### **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:** 29.04.2026

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

# Photogrammetrische Punktbestimmung bei der Überwachung von Staumauern

Th. Kersten, H.-G. Maas, K. Piezzi, E. Schmassmann

In diesem Beitrag wird der Einsatz moderner Methoden der terrestrischen Photogrammetrie als eine Alternative oder Ergänzung zu konventionellen Vermessungsmethoden für die wiederholte Überwachung von Staumauern diskutiert. Die Photogrammetrie bietet sich als sehr effiziente Technik für die Deformationsmessung an Staumauern an, besonders wenn eine Vielzahl von Zielpunkten regelmässig zu messen ist. An der 208 hohen und 630 m breiten Staumauer Luzzone im Valle di Blenio (TI) wurde im Rahmen einer Pilotstudie des Instituts für Geodäsie und Photogrammetrie (ETH Zürich) eine photogrammetrische 3-D Punktbestimmung für Aufgaben in der Staumauerüberwachung durchgeführt. Die Staumauer wurde dafür mit einer digitalen hochauflösenden Stillvideo Kamera Kodak DCS200 und einer metrischen photographischen Kamera Wild P31 aufgenommen. Die Ergebnisse der Punktbestimmung aus der photogrammetrischen Bündelblockausgleichung werden präsentiert, um das Genauigkeitspotential dieser Methode aufzuzeigen. Zum Vergleich und als Referenzdaten wurden die 3-D Objektpunktkoordinaten sämtlicher Zielmarken auch durch Vermessung mit Theodolit und einem hochgenauen Distanzmessgerät Mekometer ME 5000, wie sie traditionell bei Staumauerdeformationsmessungen eingesetzt werden, bestimmt.

*Cet article traite de l'application de méthodes modernes de la photogrammétrie terrestre comme alternative ou complément aux méthodes de mensuration conventionnelles dans le domaine de la surveillance répétée (systématique) de barrages hydrauliques. La photogrammétrie est une technique très efficace pour la mesure de déformation de barrages, surtout lorsqu'il s'agit de mesurer régulièrement une multitude de points. Dans le cadre d'une étude pilote, l'Institut de géodésie et de photogrammétrie de l'EPFZ a procédé à la détermination photogramétrique tridimensionnelle de points du barrage de Luzzone (Vallée di Blenio, TI), haut de 208 et large de 630 m, destinés à la surveillance de celui-ci. A cet effet, l'ouvrage a été photographié avec une caméra vidéo digitale Kodak DCS 200 à haute résolution et avec une caméra photographique métrique Wild P 31. Les résultats de la détermination des points issus de la compensation photogramétrique des blocs-faisceau sont présentés afin de démontrer le potentiel de précision de cette méthode. A titre de comparaison et pour obtenir des données de référence, les coordonnées tridimensionnelles de tous les points de l'ouvrage ont aussi été mesurées avec le théodolite et un appareil de mesure de distance de haute précision Mekometer ME 500, tels qu'on les utilise traditionnellement pour les mesures de déformation des barrages hydrauliques.*

Questo articolo illustra l'impiego di metodi moderni di fotogrammetria terrestre, come alternativa o completamento dei sistemi tradizionali di misurazioni per la sorveglianza ricorrente delle dighe. La fotogrammetria si rivela una tecnica molto efficace per la misurazione delle deformazioni delle dighe, in special modo quando si tratta di misurare regolarmente tutta una serie di punti mirati. Nell'ambito di una ricerca pilota dell'Istituto di geodesia e fotogrammetria (ETH di Zurigo) presso la diga del Luzzone in Val di Blenio (alta 208 metri e larga 630 m), è stata realizzata una determinazione fotogrammetrica tridimensionale dei punti, nell'intento di sorvegliare la diga. Con una videocamera digitale ad alta risoluzione Kodak DCS200 e una camera metrica Wild P31 si sono realizzate delle riprese della diga. Per dimostrare il potenziale di precisione di questo metodo, si sono presentati i risultati della determinazione dei punti, derivanti dalla compensazione fotogrammetrica. Per il raffronto e quali dati di referenza, le coordinate tridimensionali di tutti i punti di riferimento sono anche state misurate con il teodolite e un distanziometro ad alta precisione Mekometer ME 5000, cioè secondo il metodo tradizionale di misurazione delle deformazioni delle dighe.

## 1. Einleitung

Die Bestimmung von Deformationen an Staudämmen erfolgt heute hauptsächlich durch geodätische Messmethoden. Neben Lotungen, Dehnmessstreifen und Alignementsmessungen kommt dabei vor allem die Koordinatenbestimmung signalisierter Punkte durch geodätische Netzmessungen zur Anwendung. Unter sehr guten Voraussetzungen können dabei Genauigkeiten von unter 1 mm bei der Deformationsmessung erreicht werden. Allerdings sind diese konventionellen Vermessungsmethoden sehr zeit- und kostenaufwendig. Der Einsatz in kurzen Zeitintervallen (z.B. monatlich oder vierteljährlich) ist schwer zu realisieren, und der Winter kann in den Bergen zu einer halbjährigen Messunterbrechung führen. Wegen der Flexibilität, Portabilität und Geschwindigkeit photogrammetrischer Nahbereichskameras bei der Datenakquisition und wegen der Möglichkeit, die eigentliche Messung im Büro durchzuführen, bietet die terrestrische Photogrammetrie eine kostengünstige Alternative für die Staudammüberwachung, besonders wenn eine grosse Anzahl von Punkten regelmässig vermessen werden muss und wenn nicht allerhöchste Genauigkeiten verlangt werden. Fryer und Barlett (1989) und Fryer (1995) berichten über eine laufend fortgeführte Überwachung einer Gewichtsstaumauer in Australien durch konvergente Aufnahmen von verschiedenen Stationen aus. Für die photogrammetrischen Aufnahmen wurde eine Mittelformatkamera eingesetzt und die permanent installierten Deformationspunkte waren mit retro-reflektierenden Marken signalisiert. Die Bildaufnahme für diesen Damm dauert für eine Person nicht länger als einen halben Tag. Im Vergleich dazu benötigten konventionelle geodätische Methoden bis zu über vier Mann-Weeks (Fryer, 1995).

Neben Effizienz ist hohe Genauigkeit für Deformationsmessungen bei grossen Ingenieurbauwerken von grosser Bedeutung. Photogrammetrische Ausrüstung höchster Genauigkeit wurde von Dold et al. (1993) bei Deformationsmessungen an einer Bruchsteinmauer eingesetzt. Sie erreichten mit einer Rolle LFC 23 x 23 cm<sup>2</sup> und dem digitalen Monokomparator Rolle RS1-C Standardabweichungen von 0.01 mm in der Lage und 0.02 mm für die Tiefenkoordinate bezogen auf eine Messregion von 4 x 2 m<sup>2</sup>, was extrapoliert auf die Staumauer Luzzone Standardabweichungen von 1mm/2mm entspräche.

Um die Funktionalität und das Leistungspotential photogrammetrischer Nahbereichskameras bei Überwachungsaufgaben für grosse Ingenieurbauwerke testen zu können, führte das Institut für Geodäsie und Photogrammetrie (IGP) der ETH Zürich im Rahmen des Diplomvermessungskurses im Sommer 1994 eine Pilot-

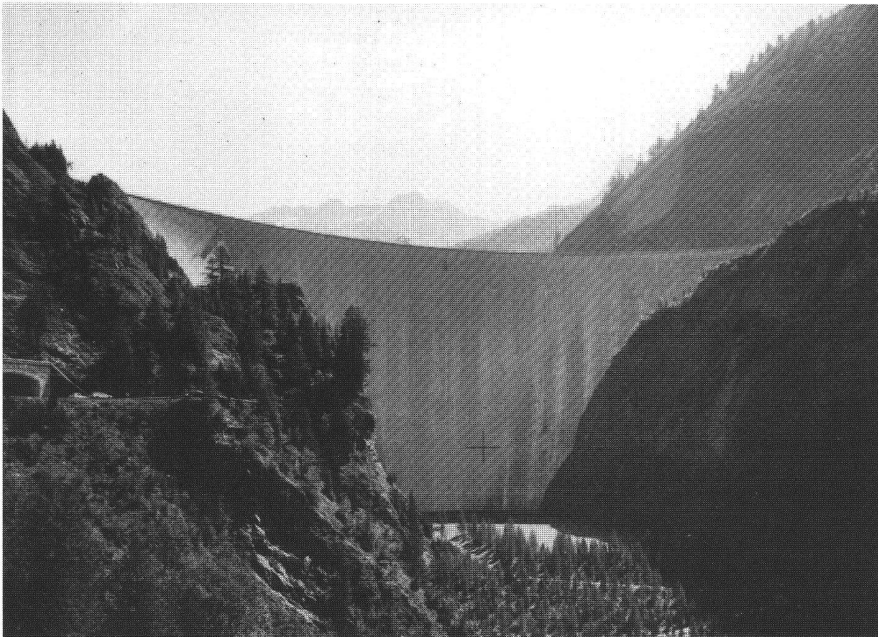


Abb. 1: Bogenstaumauer am Lago di Luzzone (TI).

studie an der Bogenstaumauer Luzzone am Lago di Luzzone (TI) durch. In diesem Artikel werden die Arbeiten mit zwei Kameras, die häufig in photogrammetrischen Nahbereichsanwendungen eingesetzt werden, beim Einsatz für die Staumauerüberwachung vorgestellt: Die digitale hochauflösende Stillvideo Kamera Kodak DCS200 und die metrische Mittelformatkamera Wild P31. Ziel der Arbeiten war es, die 3-D Koordinaten von 28 Punkten, die an der Mauer signalisiert waren, zu bestimmen.

Nach einer kurzen Vorstellung der Staumauer Luzzone in Abschnitt 2 werden die photogrammetrische Signalisierung und die geodätischen Messungen an der Staumauer (Kapitel 3) sowie die eingesetzten Kameras (Kapitel 4) beschrieben. Im Kapitel 5 werden die Arbeiten bei der photogrammetrischen Datenakquisition vorgestellt. Ergebnisse werden im Kapitel 6 präsentiert.

## 2. Die Bogenstaumauer Luzzone

Die Bogenstaumauer Luzzone (Abb. 1) liegt auf ca. 1500 m Höhe im nördlichen Teil des Valle di Blenio (TI). Die Höhe der Mauer selbst ist 208 m bei einer Länge von 630 m an der Mauerkrone. Die Dicke der Mauer beträgt im Bereich der Krone 10 m und nimmt zum Sockel auf 36 m zu. Die Mauer wurde von 1960–62 gebaut, für 1995 ist eine Erhöhung um 15 m geplant. Deformationen an der Mauer werden hauptsächlich durch starke Variationen der aufgestauten Wassermenge (160 m zwischen maximalem und minimalem Wasserstand) und durch jahreszeitliche Temperaturschwankungen verursacht. In zwei Messkampagnen (Herbst 1993 und

Frühsommer 1994) wurde durch geodätische Messmethoden eine effektive Durchbiegung an der Mauerkrone von bis zu 8 cm bestimmt, die sich durch die Erhöhung der Mauer noch vergrößern dürfte.

## 3. Signalisierung und geodätische Messungen

Die Kontrastverhältnisse an der Maueroberfläche bedingen - sowohl für die geodätische als auch für die photogrammetrische Punktbestimmung - eine Signalisierung der zu messenden Punkte. Mit einem Spezialkleber wurden 28 PVC - Zielmarken an der Mauer als photogrammetrische Signalisierung angeklebt. Die 28 Signale waren in vier Reihen entlang der Mauer angebracht: eine Reihe 5 m unterhalb der Mauerkrone, eine am Fundament und zwei in der Mitte auf der Höhe der Mauerkonsolen (Abb. 2). Es muss allerdings erwähnt werden, dass die Verteilung und die Anzahl der Punkte in dieser Pilotstudie bei weitem nicht optimal waren, da der Anbringung der Signale durch Sicherheitsaspekte (Abseilen ...) Grenzen gesetzt waren und somit keine Punkte in der Mit-

te der Mauer signalisiert werden konnten. Die Grösse der Signale betrug  $40 \times 40 \text{ cm}^2$  (Abb. 5a), was einen Kompromiss für die Anforderungen der Signalgrößen beider eingesetzter Kameras bedeutete. Im Zentrum der PVC-Scheiben wurde eine kreisförmige Zielmarke für die geodätischen Messungen. Die 3-D Koordinaten der Zielmarken, die später als Referenzdaten für die photogrammetrische Punktbestimmung dienten, wurden durch ein lokales Richtungs- und Streckennetz mit einem Theodolit Kern E2 und einem Distanzmesser Kern Mekometer ME 5000 bestimmt. Die Messungen wurden in zwei Tagen abgeschlossen. Das lokale geodätische Netz wurde bei der Ausgleichung auf ein minimales Datum gelagert; die Standardabweichungen betrugen 1–2 mm in allen drei Koordinaten (Schmassmann, 1994). Dabei wurden vier der 28 Punkte nur durch 2 Strahlen bestimmt. Diese Ergebnisse sind für Deformationsmessungen an Staumauern nicht repräsentativ und reizen das Potential geodätischer Messverfahren sicher noch nicht aus, genügen aber als Referenzwerte für die folgenden Vergleiche.

## 4. Eingesetzte Kameras

### 4.1 Stillvideo Kamera Kodak DCS200

Die digitale hochauflösende Stillvideo Kamera Kodak DCS200 (Abb. 3) besteht aus einem modifizierten Kamerakörper Nikon 8008s, der mit einem  $1524 \times 1012$  Pixel grossen CCD Sensor ( $14 \times 9,3 \text{ mm}^2$ ) in der Bildebene ausgestattet ist. Die Kamera wird mit schwarz-weiss oder Farbsensor angeboten; die Bilder können auf 2MB DRAM oder optional auf einer internen 80 MB Harddisk gespeichert werden, welche Speicherplatz für 50 unkomprimierte Bilder bietet. Das für diese Pilotstudie eingesetzte Modell war die DCS200 mit einem Farbsensor und einer 80 MB Harddisk; das Gewicht der kompletten Kamera beträgt 1.7 kg. Für die Aufnahmen an der Staumauer wurden ein 18 mm und ein 28 mm Nikkor-Objektiv verwendet. Wegen der reduzierten Sensorfläche entspricht der Öffnungswinkel des 18 mm (28

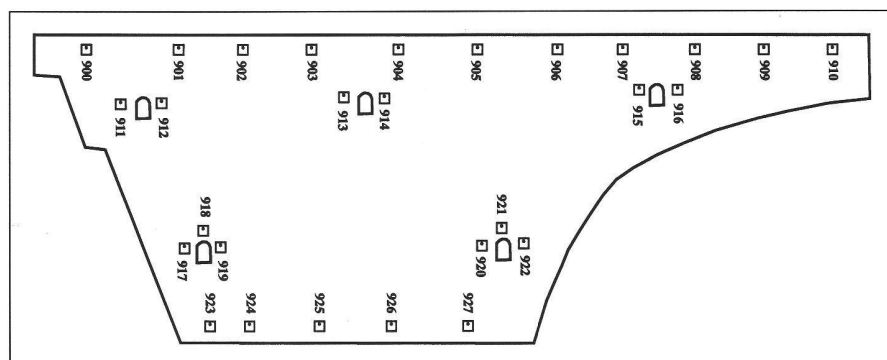


Abb. 2: Verteilung der signalisierten Punkte an der Staumauer Luzzone.

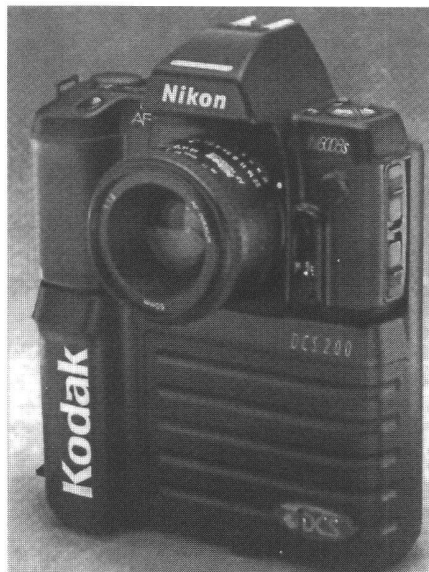


Abb. 3: Digitale Stillvideo Kamera Kodak DCS200.

mm) Objektivs einem 45 mm (70 mm) Objektiv einer normalen Spiegelreflexkamera. Die DCS200 kann als ein autonomes System zur Gewinnung digitaler Bild-daten im Felde angesehen werden und hat sich durch ihre Flexibilität und ihr Genauigkeitspotential in der digitalen Nahbereichsphotogrammetrie binnen kurzer Zeit als «Arbeitspferd» etabliert.

## 4.2 Metrische Mittelformat-Kamera Wild P31

Neben der DCS200 wurde auch die metrische Mittelformat-Kamera Wild P31 mit einem Weitwinkelobjektiv ( $f = 100$  mm,  $f/8$ , Fokussierdistanz 25 m fix) für die Aufnahmen an der Staumauer eingesetzt. Die Kamera wurde vom Hersteller kalibriert und weist Verzeichnungswerte von weniger als  $2 \mu\text{m}$  auf. Für die Aufnahmen an der Staumauer wurden schwarz-weiß

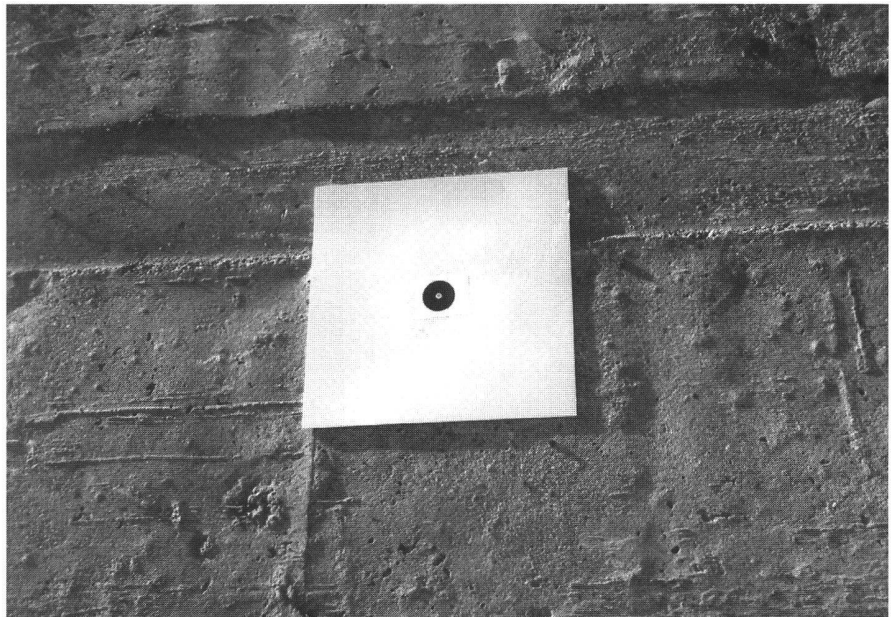


Abb. 5a: Photogrammetrische und geodätische Punktsignalisierung.

Negativglasplatten Agfa Avipan 100 mit einem Format von  $103 \times 127$  mm verwendet. Wegen des Gewichtes von 14.9 kg für das Kamerasystem musste für die Bildaufnahme ein Stativ verwendet werden.

## 5. Photogrammetrische Aufnahme

Mit der DCS200 wurden Aufnahmen von drei Kamerastationen auf der Mauerkrone, fünf Stationen gegenüber der Mauer und vier Stationen aus einer Seilbahnkabine gemacht (Abb.4). Die P31-Glasplatten wurden ebenfalls auf den Stationen 1–8 sowie auf zwei zusätzlichen Stationen, eine auf der Wiese gegenüber der Mauer und eine etwas weiter entfernt, belichtet. Wegen ihrer umständlichen Handhabung

wurde die P31 in der Seilbahn nicht eingesetzt.

Um die Netzgeometrie für die simultane Kamerakalibrierung zu verbessern, wurden mit der DCS200 zusätzlich Bilder mit rotierter Kameraachse ( $90^\circ$  und  $180^\circ$  Verkantung) aufgenommen. Wegen der bekannten Kalibrierungsdaten mussten solche rotierten Aufnahmen mit der P31 nicht gemacht werden. Um trotz des relativ schmalen Öffnungswinkels alle Signale in Bildern der DCS200 abzubilden, mussten von allen Stationen mehrere, verschwenkte Aufnahmen gemacht werden, während aufgrund des wesentlich größeren Öffnungswinkels jeweils die meisten Zielmarken auf eine Glasplatte der P31 abgebildet werden konnten. Insgesamt wurden mit der P31 von 10 Stationen 10 Aufnahmen gemacht, während mit der DCS200 insgesamt 74 Bilder von 12 Stationen aufgenommen wurden. Für die P31 Aufnahmen wurden ca. 2 Stunden benötigt, während die DCS200 Aufnahmen in ca. 3 Stunden gemacht wurden. Bildblöcke solcher Größe sind in der digitalen Nahbereichsphotogrammetrie durchaus nicht unüblich; mit guter semi-automatischer Auswertesoftware lassen sie sich in erstaunlich kurzer Zeit auswerten.

## 6. Auswertung und Resultate

Die digitalen Bilddaten der DCS200 wurden halbautomatisch mit Methoden der digitalen Photogrammetrie verarbeitet, wobei eine Auswerteprozedur wie in Maas/Kersten (1994) beschrieben eingesetzt wurde. Die Pixelkoordinaten der signalisierten Punkte in den DCS200 Bildern (Abb. 5b) wurden durch Least-Squares-Template-Matching (Grün, 1985) bestimmt.

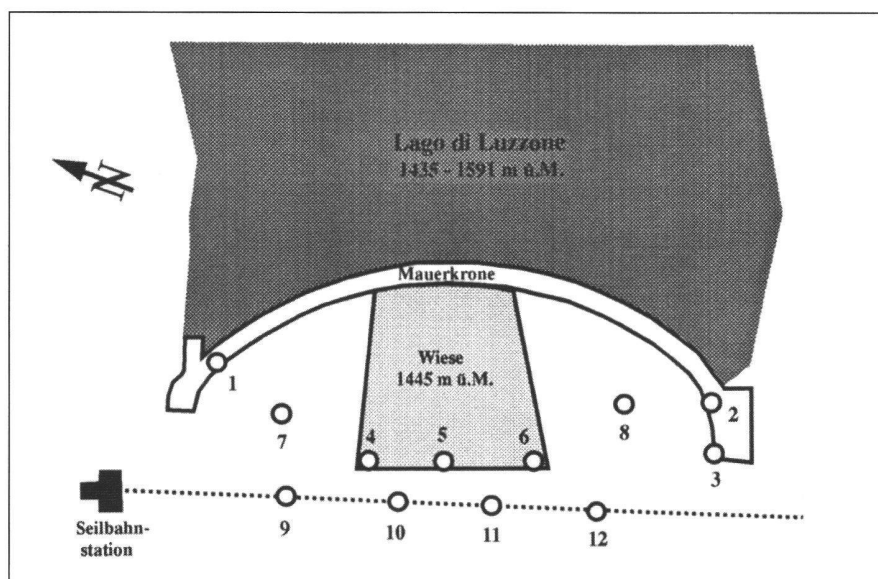


Abb. 4: Verteilung der Kamerastationen für die DCS200 (Skizze).

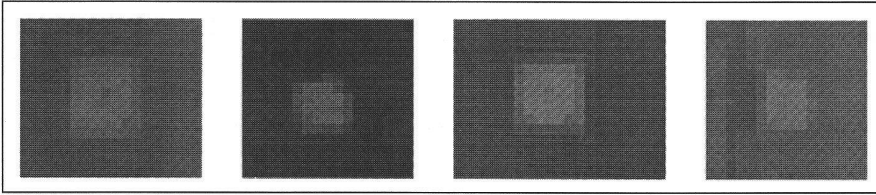


Abb. 5b: Zielmarken in Aufnahmen der DCS200 bei verschiedenen Abbildungsmaßstäben, Kontrast- und Beleuchtungsbedingungen.

Näherungswerte für die Kameraorientierungen wurden interaktiv bestimmt. Für die Kompensation systematischer Fehler wurde ein Satz von neun zusätzlichen Parametern (Brown, 1971) in einer Bündelblockausgleichung mit Selbstkalibrierung bestimmt. Dieser Parametersatz beinhaltet die Lage des Bildhauptpunktes, die Kammerkonstante, einen Massstabfaktor in horizontaler Bildkoordinatenrichtung, eine Scherung sowie vier Verzeichnungsparameter. Die Messungen in den 10 Glasplatten der P31 wurden am Analytischen Plotter AC3 im Monokomparator-Modus durchgeführt (Piezzi, 1994). Wegen der wesentlich höheren Auflösung der P31 Negative waren alle PVC-Scheiben im AC3 deutlich zu gross abgebildet (bis zu 2mal grösser als die grösste Messmarke), doch war es in den meisten Bildern möglich, die zentrisch aufgeklebten Zielmarken, welche für die geodätische Messung vorgesehen waren, zu messen. Die Kamerakalibrierungsdaten der P31 waren vom Hersteller gegeben, eine probeweise gerechnete Simultankalibrierung brachte hier keine Verbesserung der Resultate.

Die Ergebnisse der 3-D Punktbestimmung am Staudamm Luzzzone mit beiden Kameras sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Bei der Ausgleichung wurde durch Lagerung auf vier bzw. acht Passpunkte in den Mauerecken ein redundantes Datum verwendet.

Die Standardabweichung a posteriori  $\hat{\sigma}_0$  aus der Bündelausgleichung betrug für die

DCS200  $0.8 \mu\text{m}$ , was ungefähr 1/10 des Pixelabstandes in der Kamera entspricht. Dies schöpft das Genauigkeitspotential digital photogrammetrischer Punktbestimmung mit der DCS200 bei weitem nicht aus. Unter «realen Arbeitsbedingungen» wurden mit der Kamera bereits 1/20–30 des Pixelabstandes erreicht (Kersten/Maas, 1994, Peipe et al., 1993); im Rahmen einer Diplomarbeit am IGP wurde unter Laborbedingungen mit einem Bildverband von 150 Bildern ein  $\hat{\sigma}_0$  von  $0.25 \mu\text{m}$  und eine theoretische Relativgenauigkeit von besser als 1 : 200 000 für die Lagekoordinaten im Objektraum erreicht (Keller, 1995). Auch wenn solche Werte unter realistischen Bedingungen kaum zu erreichen sein dürften, zeigen sie doch das Genauigkeitspotential dieser Methode auf. Der vergleichsweise schlechte Wert von  $0.8 \mu\text{m}$  bei dieser Pilotstudie dürfte zum grössten Teil auf die nicht genügend kontrastreiche und teilweise noch zu kleine Signalisierung zurückzuführen sein. Für die analogen P31 Bilder betrug  $\hat{\sigma}_0 = 4.5 \mu\text{m}$ . Die erreichte Genauigkeit (RMS der Kontrollpunktdifferenzen) mit der P31 betrug 13/9/6 mm in X/Y/Z und ist somit etwas schlechter als die Resultate von Fryer (1995) sind, der am regelmässig überwachten Damm Chichester (Länge 254 m, Höhe 43 m) über eine Periode von ungefähr 10 Jahren eine Genauigkeit im Bereich von 15/12/8 mm (schlechteste Messkampagne) bis 4.5/3.5/3 mm (beste Kampagne) mit der gleichen Anzahl von Bildern und einer ähnlichen Kamera

erreichte. Mit der DCS200 war die Genauigkeit in dieser Studie etwas schlechter als mit der P31.

## 7. Schlussfolgerung und Ausblick

Die in dieser Pilotstudie erreichten Ergebnisse können sicher noch nicht als für Deformationsmessungen an Staumauern akzeptabel bezeichnet werden und sind nicht vergleichbar mit Genauigkeiten, die durch konventionelle geodätische Messmethoden erreicht werden können. Allerdings ist in der photogrammetrischen Technik noch ein beträchtliches Steigerungspotential vorhanden. Mit der P31 wurde mit weitem nicht idealer Signalisierung eine Genauigkeit von 13/9/6 mm erreicht. Bei Einsatz photogrammetrischer Ausrüstung höchster Genauigkeit wäre hier eine Genauigkeitssteigerung auf bis zu 1/1/2 mm zu erwarten, wenn man die Resultate anderer Autoren (Dold et al., 1993, Shortis et al., 1994) extrapoliert. Die erzielten Genauigkeiten mit der digitalen Kamera DCS200 waren etwas schlechter als die Resultate der analogen Kamera P31, obwohl eine wesentlich grössere Anzahl von Bildern aufgenommen wurde. Auch hier ist aber noch eine erhebliche Genauigkeitssteigerung möglich: erstens stellt die Grösse und der Kontrast die Zielmarken einen Kompromiss dar und das  $\hat{\sigma}_0 = 0.8 \mu\text{m}$  zeigt auf, dass das Genauigkeitspotential der DCS200 hier bei weitem nicht ausgeschöpft wurde. Andere Autoren (Kersten/Maas, 1994, Peipe et al., 1993, Keller, 1995) erreichten um einen Faktor 2–3 bessere Genauigkeiten. Zweitens besitzt das Nachfolgemodell der DCS200, die DCS460, eine um den Faktor 2 grössere Sensorfläche von  $3000 \times 2000$  Pixeln. Ausserdem war die Verteilung der Zielmarken an der Staumauer bei weitem nicht ideal; in Verbindung mit dem schmalen Öffnungswinkel der DCS200 Objektiv führt dies zu einer schlechten Verknüpfung des Triangulationsblockes und zu einer schwachen Netzgeometrie für die Selbstkalibrierung. Nimmt man das gesamte Verbesserungspotential in Betracht, so lässt sich abschätzen, dass auch heute schon mit dem Einsatz digitaler Systeme Genauigkeiten von wenigen Millimetern bei Deformationsmessungen an einer  $600 \times 200$  m grossen Staumauer erreicht werden können.

Damit bietet sich die Photogrammetrie durchaus für Aufgaben dieser Art an. Insbesondere wenn die Anforderungen für die photogrammetrische Signalisierung schon während des Baus einer Staumauer berücksichtigt werden können (permanente Signalisierung einer grossen Anzahl von Punkten), dürften halbautomatische oder gar vollautomatische digital-photogrammetrische Methoden ein sehr effizientes Werkzeug für Deformationsmes-

| Kamera | B  | S    | PP | KP | $\hat{\sigma}_0$<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Genauigkeit aus der Ausgleichung [mm] |            |            | Genauigkeit aus Kontrollpunkten [mm] |         |         |
|--------|----|------|----|----|---------------------------------------|---------------------------------------|------------|------------|--------------------------------------|---------|---------|
|        |    |      |    |    |                                       | $\sigma_x$                            | $\sigma_y$ | $\sigma_z$ | $\mu_x$                              | $\mu_y$ | $\mu_z$ |
| P31    | 10 | 5,6  | 4  | 23 | 4,5                                   | 16,9                                  | 10,5       | 8,3        | 15,3                                 | 17,1    | 6,3     |
| P31    | 10 | 5,6  | 8  | 19 | 4,5                                   | 14,0                                  | 8,3        | 6,1        | 12,6                                 | 9,0     | 6,2     |
| DCS200 | 74 | 16,8 | 4  | 23 | 0,8                                   | 20,0                                  | 20,5       | 11,8       | 29,9                                 | 24,5    | 20,5    |
| DCS200 | 74 | 16,8 | 8  | 19 | 0,8                                   | 9,9                                   | 7,2        | 6,2        | 8,2                                  | 18,4    | 10,7    |

|    |                              |                  |                                |
|----|------------------------------|------------------|--------------------------------|
| B  | Anzahl der Bilder            | $\hat{\sigma}_0$ | geschätzte Standardabweichung  |
| S  | Anzahl der Strahlen pro Ziel | $\sigma_{XYZ}$   | theoretisches Genauigkeitsmass |
| PP | Anzahl der Passpunkte        | $\mu_{XYZ}$      | praktisches Genauigkeitsmass   |
| KP | Anzahl der Kontrollpunkte    |                  |                                |

Tab. 1: Ergebnisse der 3-D Punktbestimmung an der Staumauer Luzzzone mit P31 und DCS200 (Koordinate senkrecht zur Wand = X).

# Photogrammétrie et télédétection

sungen sein, besonders auch als zusätzliche Option zur Verdichtung konventionell gemessener Netze.

## Dank

Die photogrammetrische Signalisierung, die geodätischen Messungen und die Bildaufnahmen wurden an der Bogenstaumauer Luzzzone am Lago di Luzzzone (TI) durchgeführt. Wir möchten uns bei Herrn A. Poglia und seinem Team von der Officine Idroelettriche di Blenio S.A. für die Unterstützung vor Ort herzlich bedanken. A. Ryf, Ingenieurbüro Meier in Minusio (TI), stellte uns a priori Informationen über das geodätische Netz und über die Messungen an der Mauer zur Verfügung. R. Stengele unterstützte die geodätische Netzausgleichung mit hilfreichen Tips. Unserer besonderer Dank gilt A. Keller, J.-C. Brossard und A. Kohli für ihre Unterstützung und ihr Engagement während des Diplomfeldvermessungskurses im Sommer 1994.

## Literatur:

Brown, D., 1971: Close-Range Camera Calibration. Photogrammetric Engineering, Vol. 37, No. 8.

Dold, J., Reinking, J., Warnecke, P., 1993: The Analysis of High Precision Deformation

Measurements on Masonry Walls. 7th Int. FIG Symposium on Deformation Measurements, Banff, Canada, May 2-6.

Fryer, J. G., Bartlett, P., 1989: Photogrammetric Monitoring of Chichester Dam. Surveillance & Monitoring Surveys, University of Melbourne, Australia, pp. 74-85.

Fryer, J. G., 1995: Photogrammetric Monitoring of a Large Dam. FIG Commission 6, Symposium on Engineering Surveying, Cape Town, South Africa, February 6-10.

Grün, A., 1985: Adaptive kleinste Quadrate Korrelation und geometrische Zusatzinformation. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, Nr. 9/85, pp. 309-312.

Keller, S. A., 1995: Genauigkeitsuntersuchung der digitalen Stillvideo Kamera Kodak DCS200. Diplomarbeit am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich.

Kersten, Th., Maas, H.-G., 1994: Digital High Resolution Still Video Camera Versus Film-based Camera in Photogrammetric Industrial Metrology. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 30, Part 1, pp. 114-121.

Maas, H.-G., Kersten, Th., 1994: Digitale Nahbereichsphotogrammetrie bei der Endmontage im Schiffsbau. Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung, Nr. 3/94, pp. 96-102.

Peipe, J., Schneider, C.-Th., Sinnreich, K., 1993: Digital Photogrammetric Station DPA

– A Measurement System for Close Range Photogrammetry. Proceedings of 2nd Conference on Optical 3-D Measurement Techniques (Eds. Gruen/Kahmen), Zurich, October 4-7, pp. 292-300.

Piezzi, K., 1994: Photogrammetrische Punktbestimmungen an der Staumauer Luzzzone mit der metrischen Kamera Wild P31. Diplomarbeit am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich.

Schmassmann, E., 1994: Photogrammetrische Punktbestimmungen an der Staumauer Luzzzone mit der Kodak DCS200 und der Rollei 6006. Diplomarbeit am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich.

Shortis, M. R., Thompson, M. W., Hall, C. J., 1994: An Application of Digital Close Range Photogrammetry to the Monitoring of Large Scale Engineering Structures. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 30, Part 5, pp. 365-373.

## Adresse der Verfasser:

Th. Kersten  
Dr. H.-G. Maas  
K. Piezzi  
E. Schmassmann  
Institut für Geodäsie und  
Photogrammetrie  
ETH Höggerberg  
CH-8093 Zürich

**Leica DPW670 / DPW770 by Helava**

**The best of both!**  
Moderne Computersysteme mit durchdachten Anwendungen kennzeichnen unsere Digitalen Photogrammetrischen Arbeitsstationen DPW 670 und DPW 770.  
Alle Funktionen, die zur effizienten Bearbeitung digitaler Bilder benötigt werden, sind in ihnen enthalten.  
**DPW 670 / 770 – Digitale Photogrammetrische Arbeitsstationen – von Photogrammetern für Photogrammeter entwickelt. Verlangen Sie unsere Dokumentation.**

P 5/2 - d

Leica AG Verkaufsgesellschaft  
CH-8152 Glattbrugg, Kanalstrasse 21  
Tel. 01/ 809 33 11, Fax 01/ 810 79 37  
CH-1020 Renens, Rue de Lausanne 60  
Tél. 021/635 35 53, Fax 021/634 91 55

HELAVA *Leica*