

## PHOTOGRAMMETRISCHE DEFORMATIONSMESSUNGEN UNTERTAGE

P. Hartfiel, Bonn

### 1. EINLEITUNG

Die Photogrammetrie wird als Meßverfahren in der Ingenieurvermessung speziell auch bei der Erfassung von Deformationen immer häufiger angewendet. Viele Beispiele für einen derartigen Einsatz sind in der letzten Zeit veröffentlicht worden /1/, /4/, /12/. Das photogrammetrische Meßverfahren hat gegenüber anderen Verfahren einige Vorteile, die seinen Einsatz begünstigen /6/, /11/:

- berührungslose Messung
- geringer Umfang der örtlichen Messungen
- Vermessung von elastischen, verformbaren und dynamischen Objekten ist möglich
- freiere Punktauswahl bzw. flächenhafte Objekterfassung

Bei der Erfassung von Deformationen an kleineren Objekten spielt gerade die berührungslose Messung eine große Rolle, besonders wenn das Objekt nicht frei zugänglich ist. Diese Überlegungen haben auch zu der Entscheidung geführt, die Photogrammetrie in dem hier vorgestellten Projekt einzusetzen. Bei der Ruhrkohle AG (RAG) ist im Rahmen eines Forschungsprojektes die Aufgabe entstanden, Teile eines Schachtes mit hoher Präzision zu überwachen. Eventuelle Formveränderungen dieser Schachtteile durch Setzungen im Gebirge sollen erfaßt und einer Spannungsanalyse zur Beurteilung der Standsicherheit unterworfen werden. Dem Institut für Photogrammetrie der Universität Bonn (IP Bonn) ist die photogrammetrische Erfassung der zu erwartenden Deformationen übertragen worden. Das Gesamtforschungsprojekt "Abbau schachtnaher Vorräte" wird vom Bundesminister für Forschung und Technologie gefördert.

Im folgenden soll nun die Abwicklung dieses Projektes dargestellt werden. Zunächst wurde eine Aufnahmeanordnung unter Beachtung der Verhältnisse im Schacht festgelegt. Die daraufhin entstandenen Bilder sind ausgemessen, die Meßergebnisse einer Bündelblockausgleichung unterzogen und die Deformationsvektoren bestimmt worden. Abschließend wird der Einsatz eines analytischen Plotters zur Verbesserung und Beschleunigung der Datenerfassung erörtert.

### 2. AUFNAHMEANORDNUNG

Bei dem zu überwachenden Schacht handelt es sich um einen Frischluftschacht mit einer Teufe von 881m und einem Durchmesser von ca. 6,5m. Für die Untersuchungen sind zwei Schachtabschnitte in 60m und 410m Teufe ausgewählt worden. Die Länge dieser zylinderförmigen Abschnitte liegt bei 4,5m (Abb. 1). Die Wandung besteht an diesen Stellen aus verschraubten Stahlgußteilen. Die Arbeiten an der Schachtwandung werden erschwert, da von den frei geführten Körben jeweils nur eine Schachthälfte erreicht werden kann. Um den Fahrbetrieb nicht zu beeinträchtigen, können im Schacht keine großen Meßapparaturen eingebaut werden. Der Einsatz der Photogrammetrie bietet sich daher als wirtschaftliche Methode an, da sie weder auf den Einbau von Meßapparaturen noch auf die Begehrbarkeit des Schachtes angewiesen ist.

Die Formerfassung des Schachtkörpers kann in diesem Fall durch diskrete Punkte erfolgen, da sie später die einzelnen Stahlgußteile in ausreichender Form bei der Standsicherheitsuntersuchung repräsentieren können. Diese Punkte sind vorgegeben und als Genauigkeitsanforderung eine Standardabweichung für eine Koordinate von 0,2mm angegeben worden.

Die Aufnahmeanordnung bei Präzisionsvermessungen ist sorgfältig zu planen, um sicherzustellen, daß sich die gewünschten Ergebnisse und Genauigkeiten erzielen lassen. Sie muß deshalb schon vorher auf ihre Leistungsfähigkeit hin untersucht und gegebenenfalls optimiert werden /16/. Am IP Bonn wird zu diesem Zweck eine Simulationsrechnung mit synthetisch erstellten Bilddaten durchgeführt. Dabei wird das Objekt durch diskrete Punkte vorgegeben. Entsprechend der ausgewählten Aufnahmeanordnung (Orientierung, Anzahl der Bilder, Kammer) werden die Bildkoordinaten abgeleitet. Für die anschließende Bündelblockausgleichung wird die Standardabweichung der Gewichtseinheit sinnvoll vorgegeben. Nach der Ausgleichung ergibt sich eine Normalgleichungsinverse, die gute Rückschlüsse auf die zu erwartenden Ergebnisse zuläßt. Die Aufnahmeanordnung wird dann gegebenenfalls angepaßt.

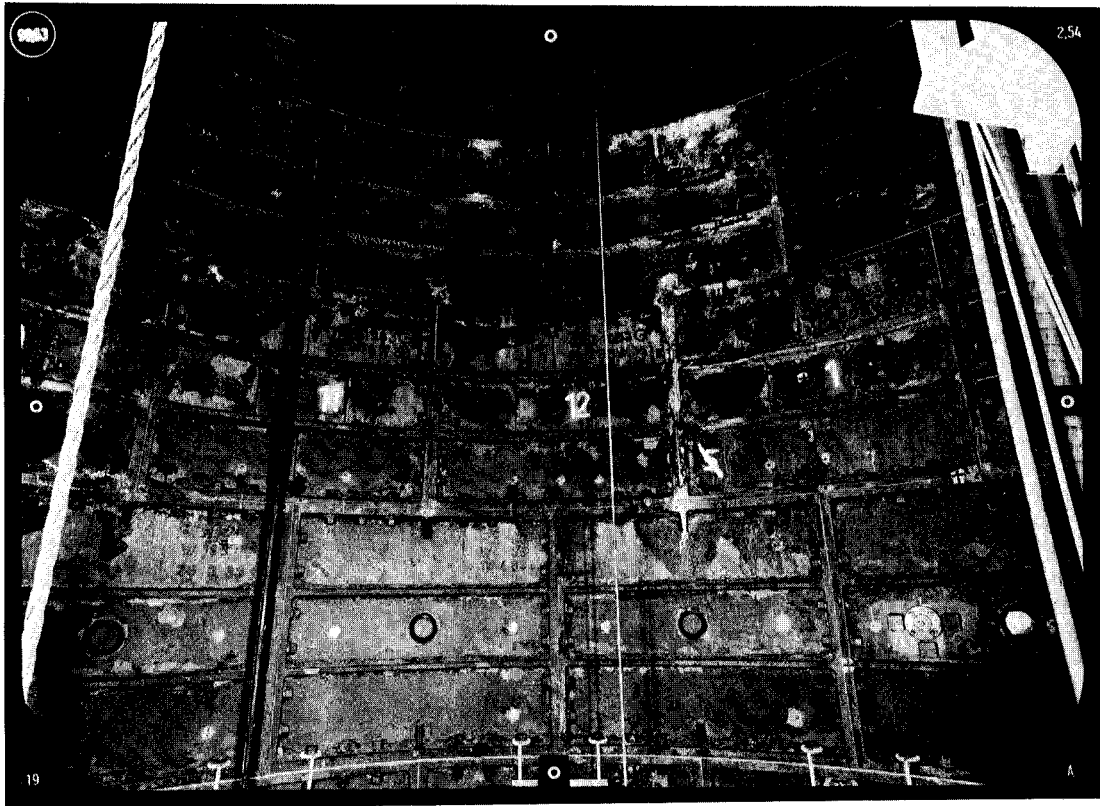


Abb. 1: Blick in den Schacht

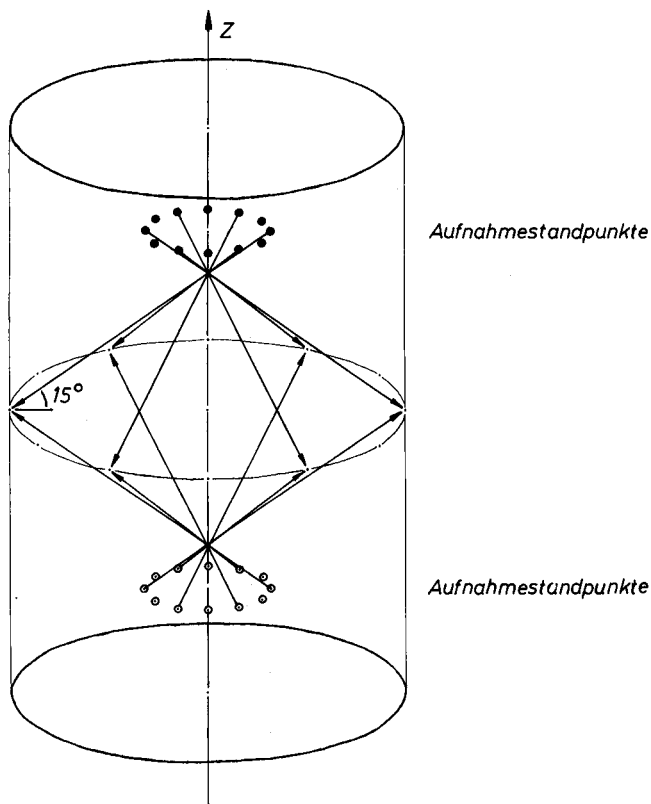


Abb. 2: Aufnahmeanordnung

Für die Aufnahme ist eine Meßkammer mit großem Format ausgewählt worden (UMK 10/1318). Die Aufnahmeanordnung ist so angelegt, daß eine simultane Kalibrierung der Kammer (Kammerkonstante, Hauptpunktlage, radialsymmetrische Verzeichnung) durchgeführt werden kann /5/, /14/. Abbildung 2 zeigt die ausgewählte Aufnahmeanordnung. In zwei Ebenen sind jeweils 12 Projektionszentren vorgesehen. Die Aufnahmeachsen sind um jeweils  $15^\circ$  gegen die Horizontale geneigt. Bei einer fokussierten Aufnahmeentfernung von 4,2m (Bildmaßstab 1:42) ergeben sich sechs bis acht homologe Bildpunkte. Die Anzahl der Objektpunkte wurde auf insgesamt 204 erweitert, um eine gleichmäßige Punktbestimmungsgenauigkeit zu sichern. Mit einer Simulationsrechnung ist nachgewiesen worden, daß diese Aufnahmeanordnung den gestellten Anforderungen gerecht wird.

Für die eigentliche Aufnahme mußte die Kammer mit einigen zusätzlichen Einrichtungen versehen werden. So ist die Kammer gekapselt worden, um das elektrische System vor schlagenden Wettern und die Kammer vor Feuchtigkeit zu schützen. Ein Scheinwerfer zur Ausrichtung des Systems und eine Reihe von insgesamt 32 Blitzen sind in das Gehäuse integriert, um die Arbeit in der Dunkelheit zu ermöglichen. Diese Anpassungen und die Ausführung der Arbeiten untertage werden von der Firma Rheinische Braunkohlenwerke durchgeführt. Im zu überwachenden Schacht sind zwei Horizonte signalisiert und in den Jahren 1984 - 1986 mehrmals aufgenommen worden.

### 3. AUSWERTUNG

Erster Schritt zur Gewinnung der Deformationsinformation ist die Bündeltriangulation der einzelnen Epochen. Alle Berechnungen erfolgen mit dem am IP Bonn entwickelten Programm MOR-S /7/, /13/. Für die Triangulation der Schachtaufnahmen mußten einige Besonderheiten berücksichtigt werden.

Wie schon einleitend erwähnt, soll das Objekt in seiner Form erfaßt werden. Ein absoluter Bezug auf ein übergeordnetes Koordinatensystem ist daher nicht notwendig. Diese Aufgabenstellung unterscheidet sich daher von den Standardaufgaben der Deformationsmessung wie z.B. Staudamm- oder Brückenüberwachung. Es ist lediglich notwendig, die Form in den jeweiligen Epochen, repräsentiert durch ausgewählte Punkte, in einem einheitlichen Koordinatensystem zu bestimmen. Aus den Differenzen zwischen den Objektkoordinaten der Referenz- und der Folgeepoche lassen sich dann eventuelle Veränderungen direkt ableiten.

Die Festlegung eines Datums im Schacht kann nicht über Paßpunkte erfolgen, da es nicht möglich ist, im Schacht einen absoluten Bezug mit der notwendigen Genauigkeit herzustellen. Es kann ebenfalls nicht davon ausgegangen werden, daß einzelne Punktgruppen unverändert bleiben. Eine Behebung des Rangdefekts durch minimale Paßpunktinformation scheidet deshalb auch aus, da bei Veränderung dieser Punkte, das Koordinatensystem systematisch verfälscht wird. Zusätzlich wird die Fehlerrechnung willkürlich durch die Auswahl der Punkte beeinflusst. Der Rangdefekt des Normalgleichungssystems wird deshalb in einer freien Netzausgleichung durch zusätzliche Minimierungsbedingungen behoben /7/, /15/. Da es möglich ist, kalibrierte Maßstäbe mitabzubilden und damit den Maßstab des Objektes zu bestimmen, vermindert sich der Rangdefekt auf sechs.

Zur Ableitung von Deformationsvektoren ist es notwendig, daß die Objektkoordinaten beider Epochen in einem einheitlichen Datum bestimmt sind. Da keine übergeordneten Datuminformationen vorhanden sind, wird hier der Weg beschritten, ein optimal angepaßtes Datum für die Folgeepochen zu finden. Diese Aufgabe wird mit Hilfe der freien Netzausgleichung gelöst. Die dadurch eingeführten speziellen Restriktionen für ausgewählte Punkte (Auffelderungspunkte) bewirken für diese eine Minimierung der quadratischen Unbekanntenzuschläge und eine Teilspurminimierung der Dispersionsmatrix /15/. Anschaulich bedeutet dieses eine Auffelderung der ausgeglichenen Objektkoordinaten auf ihre Näherungswerte. Wird nun bei der Ausgleichung einer Folgeepoche auf die ausgeglichenen Koordinaten der Referenzepepoche aufgefördert, steht zu erwarten, daß die Punkthaufen und damit das Datum optimal aufeinander eingepaßt werden. Diese Überlegung ist jedoch nur dann richtig, wenn keine systematischen Einflüsse auf das Objektpunktfeld oder einzelne Punkte gewirkt haben. Um dennoch bei lokal auftretenden Deformationen eine sinnvolle Datumsanpassung zu erhalten, müssen die deformierten Punkte erkannt und von den Minimierungsbedingungen der freien Netzausgleichung ausgeschlossen werden. Zu diesem Zweck ist in das Bündeltriangulationsprogramm MOR-S ein statistischer Test aufgenommen worden. Mit ihm werden die Koordinatendifferenzen zwischen den Objektkoordinaten der Referenzepepoche und der aktuellen Epoche auf signifikante Abweichung von Null getestet. Die Testgröße benötigt dazu die Dispersions-

matrix beider Epochen.

Nach diesen hier aufgezeigten Verfahren wird die Auswertung durchgeführt. Die Bildkoordinaten werden mit einem umgebauten Monokomparator Komess 3030 von Jenoptik gemessen. Es werden Doppelmessungen durchgeführt. Der Einstellfehler liegt bei diesem Gerät bei etwa 1µm. Die Ergebnisse für den ersten signalisierten Horizont sollen im folgenden vorgestellt werden.

Epoche		1	2	3	4	5	8
$\sigma_b$	µm	1,6	1,5	1,9	2,0	2,6	2,5
$\sigma_x$	mm	0,07	0,07	0,08	0,10	0,13	0,11
$\sigma_y$	mm	0,07	0,07	0,08	0,09	0,12	0,11
$\sigma_z$	mm	0,04	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06
A	mm	0,11	0,10	0,12	0,14	0,18	0,16
B	mm	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05
DX	mm	-	0,38	0,13	0,39	1,73	1,84
DY	mm	-	0,31	0,13	0,34	1,66	1,76
DZ	mm	-	0,09	0,09	0,12	0,12	0,11

- $\sigma_b$  - Standardabweichung der Bildbeobachtungen a priori (geschätzt)
- $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  - mittlere Standardabweichungen der Objektkoordinaten
- A, B - mittlere große/kleine Halbachse der Fehlerellipsen in der X,Y-Ebene
- DX, DY, DZ - mittlere quadratische Summe der Differenzvektoren zur Epoche 1

Tabelle 1: Triangulationsergebnisse der einzelnen Epochen

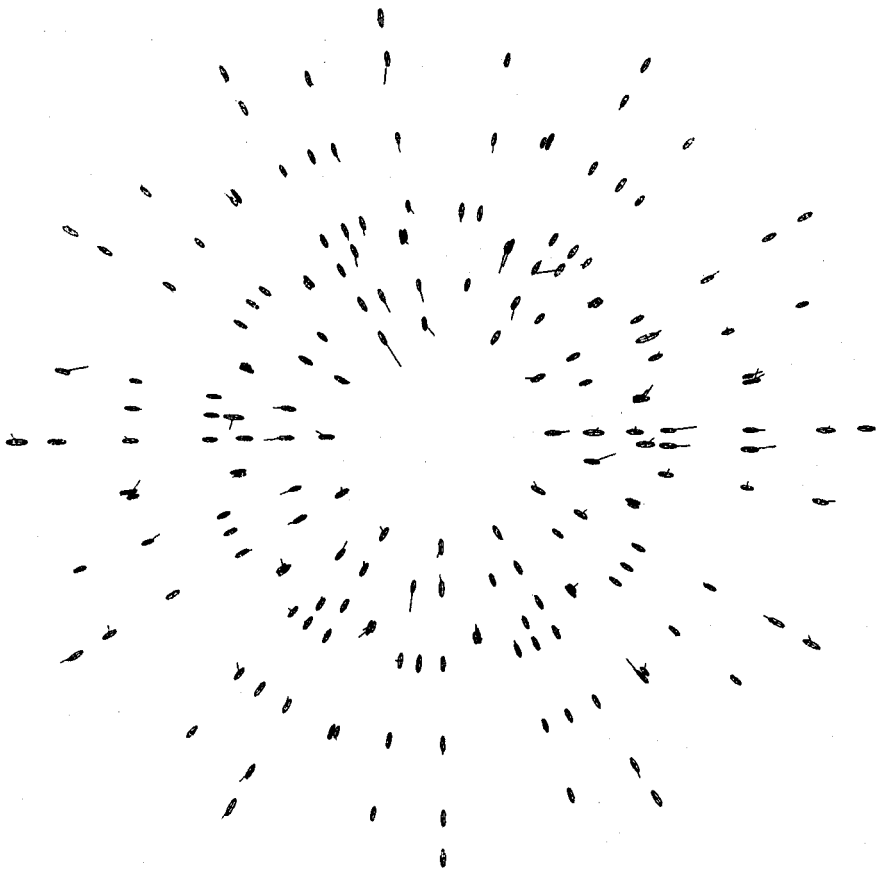
Die a priori Standardabweichungen der Bild- und Streckenbeobachtungen werden in einem iterativen Schätzprozeß (Varianzkomponentenschätzung) gewonnen /3/. Die ersten Epochen zeigen die Leistungsfähigkeit des photogrammetrischen Systems. Ab der vierten Epoche verschlechtern sich die Ergebnisse. Dies wird zu einem großen Teil auf die verschlechterte Signalerkennbarkeit durch Korrosion und Verschmutzung zurückgeführt. Die Standardabweichungen der Objektkoordinaten liegen im erwarteten Bereich und erfüllen die gestellten Genauigkeitsanforderungen. Auffällig sind die deutlich besseren Standardabweichungen für die Z-Koordinaten. Dies beruht jedoch auf der Aufnahmeanordnung und der Wahl des Koordinatensystems. Die Z-Achse liegt in Richtung der Schachtachse (Abb. 2), und die X,Y-Ebene bildet einen horizontalen Schnitt durch den Schachtzylinder. Bedingt durch die Ausrichtung der Aufnahmeachsen liegt die Hauptachse der Fehlerellipsoide näherungsweise in der X,Y-Ebene und senkrecht zur Mantelfläche. Die Darstellungen der Fehlerellipsen in der X,Y-Ebene (Abb. 3, Abb. 4) verdeutlichen dies.

Die Entwicklung der Deformation des Schachtes läßt sich an Hand der mittleren quadratischen Differenzvektoren nachvollziehen (Tabelle 1/ Abb. 3, Abb. 4). Ab der vierten Epoche setzt eine Deformation des gesamten Schachtes ein, die in der achten Epoche zum Stillstand gekommen ist. Dies sind Auswirkungen eines Kohleabbaus in der Nähe des Schachtes. Die Standsicherheit des Schachtes ist jedoch nicht beeinträchtigt worden. Erkennbar wird auch, daß das angesprochene Verfahren zur Gewinnung eines optimal gelagerten Punktfeldes bei dieser umfassenden Formveränderung versagt. Um dennoch zu einer vertretbaren Lösung zu kommen, wurden bei zu großer globaler Deformation alle Objektpunkte zur Auffelderung herangezogen.

#### 4. AUTOMATISIERUNG DER DATENERFASSUNG

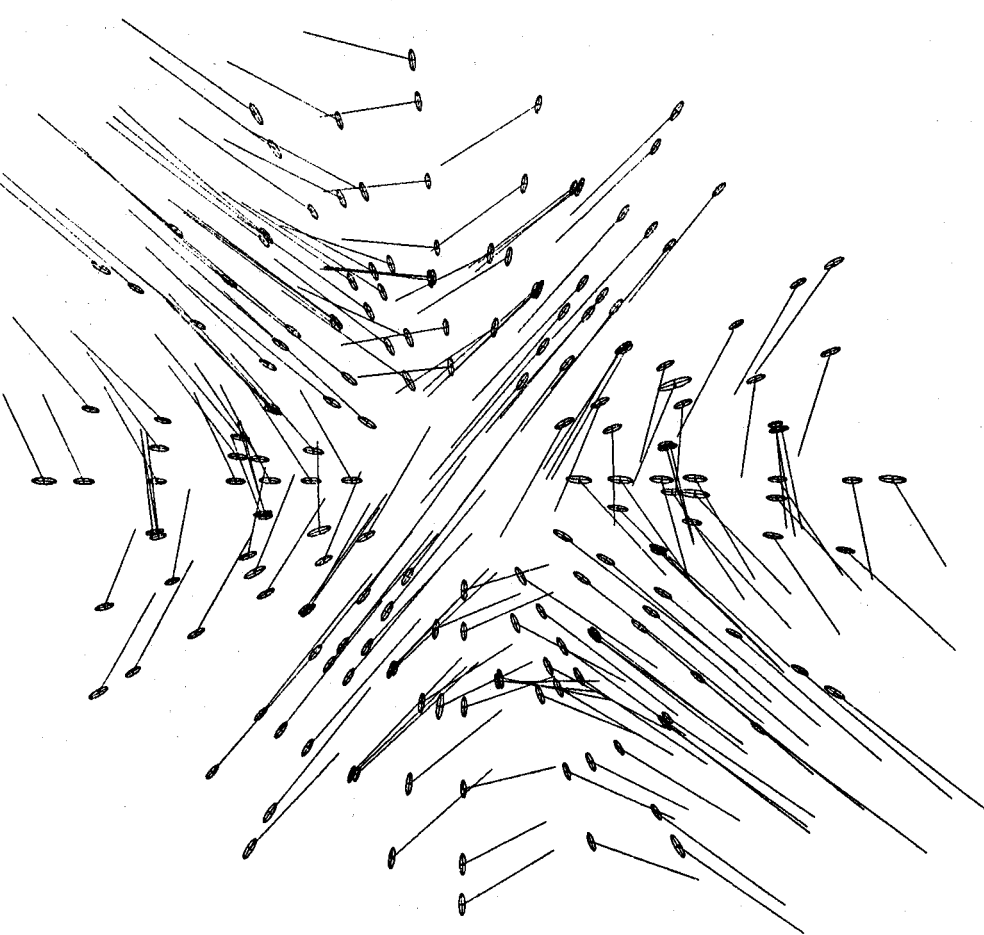
Wie schon erwähnt, werden zur Zeit die Bildkoordinatenmessungen am Monokomparator durchgeführt. Diese Messung ist sehr zeitaufwendig, da bedingt durch den monotonen Bildinhalt und den geringen betrachtbaren Bildausschnitt eine Orientierung im Bild sehr viel Aufwand und Konzentration verlangt. Die Suche nach den Signalen bzw. die richtige Zuordnung von Punktnummern ist daher aufwendig und eine große Fehlerquelle. In Abhängigkeit von der Geübtheit des Beobachters sind Bearbeitungszeiten von mehreren Stunden für ein Bild mit ca. 60-70 Bildpunkten aufgetreten. In der Regel müssen bei einigen Bildern Nachmessungen durchgeführt werden.

DEFORMATIONSVektoren und Fehlerellipsen  
EPOCHE 3 / EPOCHE 1 ( X, Y - EBENE ) H1  
DEFORMATIONSVektoren und Fehlerellipsen  
EPOCHE 8 / EPOCHE 1 ( X, Y - EBENE ) H1



— ENTSPRICHT 1.0 MM VEKTORLÄNGE

Abb. 3



— ENTSPRICHT 1.0 MM VEKTORLÄNGE

Abb. 4

Um diesen Problemen zu begegnen, liegt der Gedanke nahe, die Messungen mit einem analytischen Plotter auszuführen, um die Möglichkeit der automatischen Vorpositionierung zu nutzen. Der Einsatz eines analytischen Plotters soll vor allem zwei Zwecken dienen:

- Reduzierung der Meßzeiten
- Vermeidung von groben Meßfehlern

Für diese Zwecke wird zur Zeit am IP Bonn ein neues Meßprogramm "Automatisches Monokomparator-Meßprogramm" (AMOMP) entwickelt. Das zugrunde liegende Prinzip ist nicht neu. Für die Luftbildauswertung sind ähnliche Lösungen vorgestellt worden /2/, /9/. Das Programmsystem AMOMP ist jedoch so konzipiert, daß es auch den speziellen Erfordernissen der Nahbereichsphotogrammetrie Rechnung trägt. Es besteht aus mehreren Komponenten, die die einzelnen Arbeitsschritte bis zur Triangulation übernehmen (siehe auch Abb. 5):

- Beschaffung von Näherungswerten zur Vorpositionierung
- Messung
- Aufbereitung
- Orientierung

Im folgenden wird das grundlegende Konzept dieses Programmsystems kurz dargelegt.

Soll bei einer Messung am analytischen Plotter der zu messende Punkt automatisch grob angefahren werden (Vorpositionierung), können dazu bekannte Bild- oder Objektkoordinaten genutzt werden. Bildkoordinaten lassen sich zum Beispiel mit Hilfe eines Digitizers gewinnen. Wird die innere Orientierung durch die Messung der Rahmenmarken und Rahmenmarkentransformation am analytischen Plotter hergestellt, können sodann alle Bildpunkte automatisch angefahren werden. Die Messung kann dann zügig und ohne weiteren organisatorischen Aufwand wie z.B. Eingabe der Punktnummer durchgeführt werden.

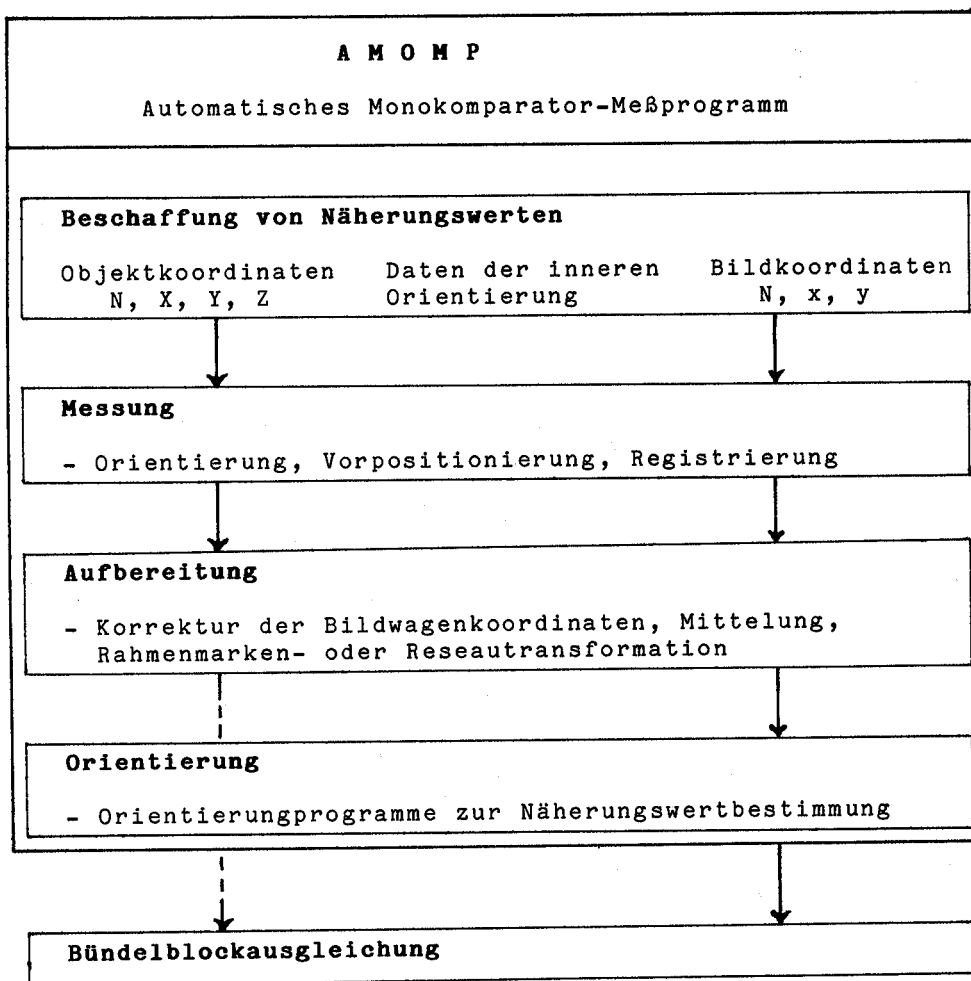


Abb. 5: Ablaufschema des Programms AMOMP

Sollen zur Vorpositionierung Objektkoordinaten verwendet werden, so muß neben der inneren auch die äußere Orientierung mittels räumlichen Rückwärtsschnittes erfolgen. Dazu müssen 3-5 Bildpunkte manuell angefahren und gemessen werden. Alle anderen Punkte können dann wieder vorpositioniert werden. Diese Objektkoordinaten können bei vorangegangenen Messungen entstanden sein, zum Beispiel bei Wiederholungsmessungen wie im hier vorgestellten Fall.

Um die notwendige Meßgenauigkeit zu erreichen ist vorgesehen, das Bild in mehreren Lagen zu messen, wobei das Bild jeweils im Bildträger verschoben und gedreht werden kann. Der Meßablauf wird zusätzlich durch eine Fahrwegoptimierung beschleunigt /2/.

Nach Abschluß der Messungen werden die Daten aufbereitet. Zunächst kann eine Korrektur der Bildwagenkoordinaten vorgenommen werden /10/. Korrekturen ergeben sich z.B. aus einer Kalibrierungsmessung mit Präzisionsgitterplatten. Wurde in mehreren Lagen gemessen, werden die Daten gemittelt und abschließend einer Rahmenmarken- oder Reseau-Transformation unterzogen.

Werden zur Vorpositionierung Bildkoordinaten verwendet, liegen noch keine Näherungswerte für die äußere Orientierung vor. Diese werden durch Orientierungsprogramme gewonnen, die Parametersingularitäten vermeiden /8/.

Nach Abschluß der Berechnung ist eine Datei mit aufbereiteten Bildkoordinaten und den notwendigen Näherungswerten für die äußere Orientierung und die Objektkoordinaten entstanden, die direkt in die Bündelausgleichung eingehen kann. Eine projektbezogene Datenstruktur gewährleistet den Datenfluß. Das Programm ist im Meßteil speziell auf den analytischen Plotter Zeiss Planicomp abgestellt. Die Integration eines Meßprozesses für die Auswertung digitalisierter Bilder ist auf längere Sicht geplant.

Erste Tests zeigen, daß die gesteckten Ziele, Beschleunigung der Messung, Vermeidung von groben Fehlern, erreicht werden. Ein Einsatz für die hier vorgestellten Überwachungsvermessungen wird nach Abschluß der Testphase angestrebt.

##### 5. ABSCHLIESSENDE BEMERKUNGEN

An dem hier vorgestellten Beispiel der Deformationsmessungen mit photogrammetrischen Verfahren konnte erneut die Leistungsfähigkeit dieser Meßmethode bei speziellen Aufgabenstellungen unter Beweis gestellt werden. Eine vergleichbare Punktbestimmung mit anderen geodätischen Methoden wäre in diesem Fall wenn nicht unmöglich so doch nur mit enormem zeitlichen und finanziellen Aufwand möglich gewesen. Voraussetzung für den Einsatz der Photogrammetrie bei derartigen Problemstellungen ist die Verwendung moderner Bündeltriangulationsprogramme, die den gestellten Anforderungen an eine derartige Auswertung Rechnung tragen. Nicht zuletzt ist auch die Automation des Auswerteprozesses ein nicht zu vernachlässigender Faktor, da die zügige Auswertung gerade bei der Erfassung von Deformationen eine große Rolle spielen kann. Auch der Einsatz digitaler Erfassungs- und Auswertesysteme kann in Zukunft zu einer Optimierung der Verfahren und zu erweiterten Einsatzmöglichkeiten der Photogrammetrie führen.

##### LITERATURVERZEICHNIS

- /1/ Borutta, H. und Peipe, J.: Photogrammetrische Erfassung von Deformationen im Automobilbau, DVW-Seminar "Deformationsmessungen", 4.-6. März 1987, in München
- /2/ Ellenbeck, K.H.: Rechner-unterstützte Punktmessung am Analytischen Plotter, IAP, Vol. 26-2, p. 43-50, Baltimore, 1986
- /3/ Förstner, W.: Ein Verfahren zur Schätzung von Varianz- und Kovarianzkomponenten, Allgemeine Vermessungsnachrichten 86 (1979), S. 446-453
- /4/ Fraser, C.S. and Brown, D.C.: Industrial photogrammetry: New developments and recent applications, Photogrammetric Record 12 (1986), p. 197-217

- /5/ Hartfiel, P.: Kalibrierung eines Meßkammersystems zur Präzisionsvermessung eines Schachtsegments im Steinkohlenbergbau, in: Kupfer, G. und Wester-Ebbinghaus, W.: "Kammerkalibrierung in der photogrammetrischen Praxis", Deutsche Geodätische Kommission, Reihe B, Heft 275, S. 159-164, München, 1985
- /6/ Hellmeier, H.-J.: Neue Perspektiven in der Ingenieur-Photogrammetrie, in: Albertz, J. et al.: Wissenschaftlich-technische Jahrestagung 1985, S. 157-167, Frankfurt, 1986
- /7/ Hinsken, L.: MOR-S: Ein Anwendungsbeispiel für die Sparse-Technik in einem photogrammetrisch-geodätischen Netzausgleichungsprogramm, Zeitschrift für Vermessungswesen 110 (1985), S. 416-424
- /8/ Hinsken, L.: Algorithmen zur Beschaffung von Näherungswerten für die Orientierung von beliebig im Raum angeordneten Strahlenbündeln, Dissertation, im Druck
- /9/ Jacobsen, K.: Operational aspects of data acquisition for bundle block adjustment, IAP, Vol. 26-3/2, p. 374-378, Rovaniemi, 1986
- /10/ Kotowski, R.: Zur Reseaukorrektur von systematischen Bildfehlern, Bildmessung und Luftbildwesen 52 (1984), S. 96-101
- /11/ Pelzer, H.: Ingenieurvermessung, S. 101-108, Stuttgart, 1987
- /12/ Schaefer, W.: Photogrammetrische Deformationsbeobachtungen an Gebäuden und an einem Braunkohle-Röhrentrockner, in: Albertz, J. et al.: Wissenschaftlich-technische Jahrestagung 1985, S. 111-119, Frankfurt, 1986
- /13/ Wester-Ebbinghaus, W.: Bündeltriangulation mit gemeinsamer Ausgleichung photogrammetrischer und geodätischer Beobachtungen, Zeitschrift für Vermessungswesen 110 (1985), S. 101-111
- /14/ Wester-Ebbinghaus, W.: Verfahren zur Feldkalibrierung von photogrammetrischen Aufnahmekammern im Nahbereich, in: Kupfer, G. und Wester-Ebbinghaus, W.: "Kammerkalibrierung in der photogrammetrischen Praxis", Deutsche Geodätische Kommission, Reihe B, Heft 275, S. 106-114, München, 1985
- /15/ Zinndorf, S.: Freies Netz - Anwendungen in der Nahbereichsphotogrammetrie, Bildmessung und Luftbildwesen 53 (1985), S. 109-114
- /16/ Zinndorf, S.: Optimierung der photogrammetrischen Aufnahmeanordnung, Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Heft 323, München, 1986

#### ZUSAMMENFASSUNG

In der Ingenieurvermessung gewinnt die Photogrammetrie immer größere Bedeutung. Ein Beispiel für eine photogrammetrische Deformationsmessung wird hier vorgestellt. Teile einer Schachtanlage im Steinkohlenbergbau werden seit drei Jahren auf Deformationen untersucht. Dieses Projekt ist Teil eines Forschungsprojektes bei der Ruhrkohle AG, gefördert vom Bundesminister für Forschung und Technologie.

Um die gestellten Genauigkeitsanforderungen zu erfüllen, ist eine sorgfältige Planung der Aufnahme durchgeführt worden. Für die Objektpunktbestimmung wird ein flexibles Bündelblockausgleichungsprogramm (MOR-S) verwendet. Mit diesem Programm ist es möglich, alle hier aufgetretenen Ausgleichungsprobleme, vor allem die einheitliche Festlegung eines Datums, zu lösen. Bei der Auswertung der mehrmals wiederholten Aufnahmen sind Formveränderungen des Schachtes nachgewiesen worden. Der Einsatz eines analytischen Plotters zur Beschleunigung der Messung und Vermeidung grober Fehler ist geplant.



## DEFORMATION MEASUREMENT UNDERGROUND

### ABSTRACT

Photogrammetry gets more and more importance for engineering measurement. An example for the photogrammetric deformation measurement is presented here. Two segments of a shaft in a colliery have been supervised during three years in order to detect deformations. This project is part of a research project conducted by the Ruhrkohle AG and sponsored by the Ministry for Research and Technology.

An attentive planning of the photogrammetric network has been done, to realize the demanded precision. A flexible program for bundle block adjustment (MOR-S) is used to determine the coordinates of the object points. The program allows to define a best fitted datum for all epoches. The measurement has been repeated subsequently. Changes in the shape of the shaft have been proved. The use of an analytical plotter is planned for measurement acceleration and gross error avoidance.

Dipl.-Ing. P. Hartfiel  
Institut für Photogrammetrie  
der Universität Bonn  
Nußallee 15  
D-5300 Bonn 1