

14. Kongreß der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie. Hamburg 1980.  
Kommission V.

(Invited paper).

Mogilny S. (Donezk, UdSSR).

### Anwendungsmöglichkeiten der Photogrammetrie im Bergbau.

#### Kurzfassung.

Als Aufnahmeverfahren mit hochautomatisierter Informationserhebung stellt Photogrammetrie für das EDV-System der markscheiderischen Versorgung des Tagebaus eine wichtige Grundlage dar.

Im Vortrag werden Beispiele für die Anwendung der Photogrammetrie angeführt.

Das Anwachsen der Tagebaugewinnung von Bodenschätzen (75% des festen Mineralrohstoffes werden heute im Tagebau abgebaut) und die Erhöhung des Abbautempos durch den Einsatz von leistungsfähigen Geräten verlangen eine Vervollkommnung der Planungs- und Leitungsmethoden im Bergbau.

Für die Lösung dieses Problems werden in großen Bergbaubetrieben automatisierte Steuersysteme auf der Grundlage der EDVA geschaffen.

Es ist praktisch unmöglich, die Systeme mit einer bergbau-geometrischen Ausgangsinformation in vollem Umfang durch traditionelle Markscheideaufnahmen zu versorgen, da folgende Voraussetzungen erfüllt werden müssen:

- die Information muß innerhalb kürzester Frist bereitgestellt werden;

- der technologische Gewinnungsvorgang darf nicht durch die Messungen gestört werden;

- die bereitgestellte Information muß so dargestellt werden, daß sie unmittelbar in eine Rechenmaschine eingegeben werden kann;

- die Messungen können an schwer zugänglichen oder für

den Menschen gefährlichen Stellen erfolgen;

-es muß die Möglichkeit bestehen, die Vermessung unter dergleichen Bedingungen zu wiederholen, um zusätzliche oder Präzisionsinformationen zu ermitteln.

Von den vorhandenen Vermessungsmethoden entspricht nur die Photogrammetrie den obengenannten Voraussetzungen.

Ein Luft- oder terrestrisches Bild ist ein kompakter Informationsträger über die Lage im Tagebau zu einem bestimmten Zeitpunkt.

Die Entwicklung von Methoden für die Ermittlung der erforderlichen bergbau-geometrischen Information von einem Meßbild, die Gewährleistung ihrer Vollständigkeit ist die Aufgabe der photogrammetrischen Untersuchungen im Bergbau.

Dazu gehören auch Fragen, die mit der Lösung verschiedener Probleme des Markscheidewesens verknüpft sind, deren Ausgangsdaten durch die Bildmessungsmethoden ermittelt sind.

Um eine Vorstellung von den vorhandenen Fortschritten der Photogrammetrie im Bergbau und deren Perspektive zu erhalten, muß man die zu lösenden Aufgaben unter dem historischen Gesichtspunkt betrachten.

Die erste Aufgabe der Photogrammetrie war die Steigerung der Produktivität bei den Vermessungsarbeiten für die Anfertigung des Markscheiderisses. Anfangs wurde die terrestrische stereophotogrammetrische Vermessung untersucht, und seit Ende der 50-er Jahre wurde von Professor D.N. Ogloblin die Luftbildvermessung eingesetzt.(1,2).

Die Technologie der Luftbildmessung von Tagebauen unterscheidet sich von der in den geodätischen Anstalten bei dem Kartographieren unseres Landes eingesetzten Technologie. Die Unterschiede ergeben sich aus folgender Hauptforderung- die Bearbeitungsergebnisse müssen in kürzester Frist vorgelegt werden, die meistens 2-3 Tage beträgt. Die wichtigsten Besonderheiten der Technologie für ebenes Gelände sind in der Arbeit (3) beschrieben.

Große Bergbaubetriebe oder Betriebsvereinigungen haben zur Zeit in ihrem Markscheidediens eine Luftbildaufnahmeabtei-

lung, die nach einem Zeitplan Aufnahmen durchführt und Markscheiderisse der einzelnen Tagebaue anfertigt. Die Abteilungen verfügen über alle notwendigen Ausrüstungen für die Aufnahme und Abarbeitung, die Bildflüge werden mit den Flugzeugen AN-2 oder Hubschraubern K-26 und MI-4 durchgeführt, die für jede Aufnahme gemietet werden müssen. Die langjährige Erfahrung zeigte eine hohe Einsatzeffektivität der Luftaufnahme, eine Steigerung der gesamten Arbeitsproduktivität der Markscheider um das 2+3fache.

Die Besonderheiten der Arbeitsbedingungen im Tagebau forderten eine weitere Vervollkommnung der Bearbeitungstechnologie von Luftbildern mit Auswertegeräten. Die Hauptschwierigkeiten entstanden beim Übergang zu größeren Verhältnissen zwischen den Maßstäben des anzufertigenden Markscheiderisses und des Luftbildes, auf das 10-12fache, sowie bei der großen Höhendifferenz der Meßpunkte innerhalb eines Bildmodells. Das führte dazu, daß der Zeitaufwand für die Anfertigung und Orientierung des Modells die Zeit für die Aufstellung des Situationsplanes bedeutend überschritt, daß sich ständige Fehler bei Übergang von einem Kartenblatt zu einem anderen anhäuferten. Eine der möglichen Lösungen dieser Aufgabe für den Stereometrographen (Zeiß-Jena, DDR) und für weitere Geräte dieser Art ist in der Arbeit (4) dargestellt.

Nach dem vorgeschlagenen Verfahren werden durch die Bildmessung mit einem Stereokomparator und durch die Berechnung an einer EDVA für ein Auswertegerät die Orientierungsdaten sowie die Korrekturkoeffizienten ermittelt, mit deren Hilfe die Abweichungen des Realgerätes und des Bildes von dem idealen geometrischen Modell direkt berücksichtigt werden. Bei der Bearbeitung der Bilder von einem bergigen Gelände, wenn die Höhendifferenz innerhalb eines Meßmodells 60-70% der Flughöhe beträgt, verringerte dieses Verfahren den Zeitaufwand für den Aufbau des Modells um das 5+6fache. Gute Ergebnisse wurden durch den Einsatz von EDVA erzielt. Deshalb ist es kein Zufall, daß alle anderen Beispiele der Entwicklung von Photogrammetriemethoden im Bergbau stets

mit dem Einsatz der EDVA verbunden sind.

Die Situation im Tagebau verändert sich sehr schnell, die geodätischen Feldpunkte werden gestört, deshalb ist der Einsatz der analytischen Bildtriangulation für die Verdichtung der Feldpunkte zu einer aktuellen Aufgabe geworden. Sie wird in den Arbeiten (5,6) unter Berücksichtigung der Markscheidepraxis gelöst. Das Hauptziel war es, eine maximale Genauigkeit der Koordinaten zu erhalten. Dazu wird eine Ausgleichung der Messungen nach der Bündelmethode durchgeführt (5), das Einwirken der Systemfehler wird vermindert (6).

In der Arbeit (6) werden bei der Ausgleichung zusätzliche Parameter benutzt, aber im Unterschied zu den schon bekannten Vorschlägen werden die Zahl und die Art der zusätzlichen Parameter automatisch nach einem Programm im Verlaufe der Blockausgleichung in Abhängigkeit von der Menge der Information im bestimmten Netz gewählt.

Die Untersuchungen zeigen, daß für die Vermeidung des Einwirkens der systematischen Koordinatenverzerrungen des Bildes, die durch die Formeln ausgedrückt werden können

$$\delta x = a_1 + a_2 x + a_3 y + a_4 x^2 + a_5 y^2 + a_6 xy + a_7 x^2 y + a_8 xy^2 + a_9 x^3 + a_{10} y^3$$

$$\delta y = a_{11} + a_{12} x + a_{13} y + a_{14} x^2 + a_{15} y^2 + a_{16} xy + a_{17} x^2 y + a_{18} xy^2 + a_{19} x^3 + a_{20} y^3,$$

in denen  $a_i$  - zusätzliche Parameter;

$x, y$  - Koordinatenpunkte des Bildes

sind, es ausreichend ist, in der Abhängigkeit von dem Netz 9-11 Parameter auszuwählen. Die optimale Auswahl von zusätzlichen Parametern gewährleistet einerseits die Vermeidung der Systemfehler, und andererseits vergrößert sie praktisch das Einwirken des Zufallsfehler nicht.

Die Erhöhung der Genauigkeit der Koordinatenermittlung mit der Methode der analytischen Bildtriangulation ermöglicht, sie für die Beobachtung der Tagebaurendböschung und für die

Parameterbestimmung des Rutschkörpers einzusetzen (7).  
Der Einsatz von Luftbildern für diese Zwecke hat gegenüber der terrestrischen Aufnahme einen Vorteil, weil er eine große Biegsamkeit bei der Aufnahme zuläßt und praktisch die gleiche Genauigkeit gewährleistet.

Beim Abbau unter den Industriebetrieben muß man den Zustand verschiedener Einrichtungen beobachten. Zu den untergraben- den Objekten gehören auch hohe Schornsteine. Die Messung ihrer Lage mit Hilfe von geodätischen Methoden erfordert einen großen Arbeitsaufwand besonders dann, wenn die Anzahl der Schornsteine groß ist. Die terrestrische photogrammetrische Aufnahme ermöglicht es, diese Aufgabe unter optimalem Aufwand zu lösen. In den Arbeiten ( 8 und 9) ist eine solche Vermessungsmethode dargestellt, die nicht nur für Schornsteine, sondern auch für beliebige Körper regelmäßiger Form eingesetzt werden kann.

Die Vorzüge dieser Methode sind:

- eine gemeinsame Bearbeitung einer beliebigen Bilderzahl ist möglich;
- die Punkte auf der Oberfläche des zu vermessenden Körpers brauchen vor der Aufnahme nicht markiert zu werden;
- für die Bearbeitung der Messungen benutzt man einen modernen Mini-Tischrechner.

Die betrachteten Beispiele der Ausnutzung der analytischen Photogrammetrie erfordert die Bearbeitung einer relativ kleinen Eingabedatei. Die automatische Meßwertespeicherung an modernen Photogrammetriegeräten ermöglicht es, die für den Bergbau so wichtige Aufgabe , wie die Bestimmung der abgebauten Mengen, effektiv zu lösen. Es ist eine komplexe Aufgabe, da sie die Lösung folgender Probleme fordert:

- Messung der Koordinaten der Punkte im Tagebau mit genügender Genauigkeit;
- Aufbau des Digitalmodells;
- Lösung des Problems der Berechnung von abgebauten Mengen.

Wenn die Lösung des ersten Problems in großem Maße durch die Lösung der obengenannten Aufgabe gewährleistet ist, so erforderten die weiteren Probleme eine Originalausarbeitung.

Der wichtigste und komplizierteste Teil war der Aufbau des Digitalmodells des Tagebaus. Die Ausnutzung des Digitalmodells des Geländes aus dem Gebiet der Kartographie war nicht optimal, weil es die Lösung der Bergbauaufgaben erschweren könnte. Deswegen wurde ein Digitalmodell ausgearbeitet, dessen Grundlage ein solches technologisches Element der Bergbauarbeiten wie die Strosse bildete.

Für die Beschreibung der Strosse reicht es, nur vier Arten von Punkten zu Wählen, die von dem Beobachter bei der Bildauswertung klassifiziert werden. Entsprechende Software ermöglichen es, der Meßreihenfolge praktisch keine Grenzen zu setzen und die traditionelle Routine bei der Planaufstellung der Bergbauarbeiten nicht zu stören.

Eine eingehende Beschreibung des Digitalmodells würde viel Zeit und Platz verlangen, die Beschreibung seiner Besonderheiten und der Methode der Einschätzung der abgebauten Menge kann man in den Arbeiten (10,11) finden.

Das obengenannte Digitalmodell von Tagebau ist mit der Technologie der Bergbauarbeiten organisch verbunden, deshalb wird sein Einsatz für die Einschätzung der abgebauten Menge nicht begrenzt. Auf seiner Grundlage kann man praktisch alle Aufgaben der Planung und Leitung der Bergbauarbeiten lösen. Die Aufgabe der weiteren Forschungsarbeiten ist die Vervollkommnung des Digitalmodells, die Einbeziehung der geologischen und technologischen Information, die auf der Grundlage der markscheiderischen Messungen ermittelt wird.

Man kann also sehen, daß nur die photogrammetrischen Methoden der Markscheideaufnahmen die automatische Lösung der Aufgaben des Bergbaubetriebs gewährleisten können. Jedoch schöpfen die erzielten Erfolge die Möglichkeiten der photogrammetrischen Methoden bei weitem nicht aus. Man muß in erster Linie darauf hinweisen, daß die Arbeits -

bedingungen im Bergbau den Einsatz verschiedenartiger Aufnahme- und Bearbeitungstechnologien verlangen. Zur Zeit führt das zur Schaffung unterschiedlicher und getrennter Software, was die optimale Lösung oft nicht garantieren kann. Dabei wird die Technologie entweder in die vorhandenen Software "hineingedrängt", oder für die Aufgabestellung wird ein neues Programm geschaffen. Die Programmierung vieler gemeinsamen Elemente wiederholt sich.

Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, problemorientierte Programmsprache für die Programmierung der Aufgaben der photogrammetrischen Messungen sowohl im Bergbau als auch in der ganzen Industrie zu entwickeln. Das bringt die Universalität der photogrammetrischen Aufnahmen und die Genauigkeit ihrer Ergebnisse auf einen höheren Stand.

Andererseits sind die im Bergbau praktisch unausgenutzten Möglichkeiten zu beachten, z. B. Multispektral- und Farbaufnahme und die Digitalmethoden deren Bearbeitung. Sie liefern eine neue Information für die Leitung und Planung des Bergbaubetriebs und versorgen sie mit genauen geometrischen Angaben.

Die Lösung der gestellten Aufgaben verstärkt die Rolle der Photogrammetrie im Bergbau als informatorische Grundlage für die Automatisierung der Leitung im Bergbaubetrieb, senkt die Kosten und erhöht die Qualität der markscheiderischen Bedienung.

## Literatur

1. Ogloblin D. N., Reisenkind I. J. Opyt aerosjomki otkrytych gornych rabot ( Erfahrung der Bildaufnahme von Tagebau). Gorny shurnal, 1960, N2, 73-76.
2. Ogloblin D. N. Puti sowerschenstwowanija markschejder-skich sjomok karjerow. ( Wege der Vervollkommnung der markscheiderischen Aufnahmen von Tagebauen). Trudy Donezkogo politechnitscheskogo instituta, t. 61, 1962, 5-23.
3. Metoditscheskije ukasanija po aerofotosjomke karjerow ( Methodische Anweisungen für Luftbildaufnahme von Tagebauen). Leningrad, 1969, 37(WNIMI).
4. Mogilny S. G. Metodika obrabotki aerofotosjomki otkrytych rabot ( Bearbeitungsverfahren der Bildaufnahme von Tagebauen). Fotogrammetrija w gornom delje, Swerdlowsk, wyпуск 3, 1976, 31-40.
5. Finarewsky I.I. Metodika urawniwanija analititscheskich setey prostranstwennoj fototriangulazii ( Ausgleichverfahren der analytischen Netze der räumlichen Bildtriangulation ). L. 1970 (WNIMI), 175.
6. Mogilny S.G. Ispolsowanije funkziy, approksimirujuschich sistematscheskije pogreschnosti ismerenij pri urawniwaniji fototriangulazii po swjaskam. ( Ausnutzung der die Systemfehler bei Messungen approximierenden Funktionen bei der Ausgleichung der Bildtriangulation nach der Bündelmethode ). "Geodesija, aerosjomka i kartografija," Lwow, 1979, 6.
7. Strelzow B. I. , Bylin I.P. Opredelenije wektorow sdwischenija deformirujuschichsja massiwow s pomoschtschu aerofotogrammetriji. ( Bestimmung von Vektoren der Verschiebung des verformenden Gebirges durch die Luftbildaufnahme), "Besopasnost truda w promyschlennosti", 1978, 110, 37-38.
8. Mogilny S. G. fotogrammetritscheskij metod opredelenija rasmerow i poloshenija tel prawilnoj formy. ( Photo - grammetrisches Verfahren der Bestimmung der Größe und

Lage von Körper mit regelmäßiger Form ). Sbornik " Rasrabotka mestoroshdeniy polesnych iskopajemych", Kiew, "Technika", N 50, 1978, 60-65.

9. Breshnew D.W. , Mogilny S.G., Moissejewa N.W. nabljudenije sa poloshenijem dymowych trub sawoda fotogrammetri-tsheskim metodom ( Kontrolle der Lage von Schornsteinen eines Werkes durch die photogrammetrische Methode), Sbornik " Rasrabotka mestoroshdenij polesnych iskopajemych", Kiew, "Technika", N50, 1978, 65-74.

10. Mogilny S.G. , Eisenstein G.L. Zifrowoj plan otkrytych gornych rabot ( Das Digitalmodell der Tagebaue ), Sbornik " Rasrabotka mestoroshdeniy polesnych iskopajemych", Kiew, "Technika", N40, 1975.

11. Mogilny S.G., Eisenstein G.L. totschnost opredelenija wynutyh objomow po zifrowoj modeli otkrytych gornych rabot ( Genauigkeit der Bestimmung von abgebauten Mengen nach dem Digitalmodell des Tagebaues). Sbornik " Rasrabotka mestoroshdenij polesnych iskopajemych", Kiew, 1979, N 53, "Technika".

12. Mogilny S.G. Choosing a Method of Adjusting Measurements Containing Systematic Errors. "Geodesy, Mapping and Photogrammetry" Vol. 18.No.2. 1977,89-92.