

14. Kongress
der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie
Hamburg 1980

Kommision V
Arbeitsgruppe V/5

Freiwilliger Fachbeitrag

J. Petráš
TU Bratislava

ANWENDUNG DER PHOTOGRAMMETRIE BEI ERDRUTSCHUNGEN

Kurzfassung

Die Erdrutschungen werden am häufigsten mit Hilfe von Punkthau-
fe kontrolliert und sind durch die Vektoren dargestellt.

Ein gesamtes Ergebnis der Massenbewegungen kann mit Hilfe der
terrestrischen Photogrammetrie erreicht werden und zwar von
zeitlich getrennten Auswertungen in der Form eines Schichtli-
nienplanes und in der Form von Quer- und Längsprofilen. Aus
dem Verlauf dieser Auswertungen kann man die Zone Massenzunahme
und -abnahme sehr gut lokalisieren und deren Kubatur bestimmen.

Eine potenzieller Erdrutschung kann von Luftbildauswertung z.B.
für topographische Zwecke, erkannt werden. Die Lageauswertung
von Strassen, Fusspfaden und morphologischen Grenzen zeigt eine
Verbeugung dieser ursprünglich geraden Linien, was auf ein Krie-
chen der Erdmassen in diesem Gebiet deutet. Diese Verbeugungen
sind an den Stellen künftiger Abbruchkante.

PHOTOGRAMMETRY IN LANDSLIDE RESEARCH

Abstrakt

The landslides are studied mostly on the discrete group of
points and represented by vectors. A more real imagination of
the mass-movements is possible to get by the methods of terres-
trial photogrammetry. By the comparison of the contours, cross
sections plotted from photographs done in different time the
zones of the mass-increase and -decrease can be determined.

From the planimetric draiving of the potential landslides plot-
ted from aerial photographs is possible to predict the slides
termed as scree e.g. the bending of the field roads or border
lines in some area indicates direct the main scarp of the futu-
re landslide.

1. EINLEITUNG

Durch Störungen der Stabilität des Geländes entstehen an Abhängen oder Böschungen Erdbewegungen bzw. Erdrutschungen. In einigen Ländern sind diese ein oft vorkommendes Ereignis in anderen aussergewöhnliche oder wenig vorkommende Ereignisse. Die Öffentlichkeit ist hauptsächlich dann interessiert, wenn Erdrutschungen einen Charakter von Naturkatastrophen und erheblichen ökonomischen Ausmassen erreichen. In der ČSSR nach einer katastrophalen Erdrutschungen in der Mitte der Slowakei im Winter des Jahres 1960/61 wurden 9164 Rutschungsgebiete auf einem Gebiet von ungefähr 60 000 ha registriert; die Gesamtzahl und deren Flächenausmass ist in der Wirklichkeit viel grösser. Die Lokalisierung der erwähnten Rutschungsgebiete wurde auf Grund der topographischen Kartierung im Masstab 1:25 000 durchgeführt. Die Höhenschichtlinien dieser Gebiete, die aus Luftbildern ausgewertet wurden, sind sehr unterschiedlich zum klassischen Aufbau des Geländes. Der Verlauf der Höhenschichtlinien zeigt ganz klar die Lokalisationen, in denen es in der Vergangenheit zu Erdrutschungen gekommen ist.

Bei der Lokalisierung von potenziellen Erdrutschungen kann in Luftbildern sehr viel entdeckt werden. So waren im erwähnten Rutschungsgebiet schon auf den Luftbildern aus dem Jahre 1955 - also 6 Jahre vor der eigentlichen Aktivität des Erdrutsches - ganz deutlich bestimmte Elemente zu sehen, welche ein Ingenieurgeolog sehr gut für die Begrenzung der Rutschungszunge und für die Lokalisierung der potenziellen Rutschungszone hätte verwenden können. (Bild 6)

Die Stabilität von Abhängen oder Böschungen hat eine grosse Bedeutung bei der Realisation von technischen Bauten und insgesamt für die Volkswirtschaft. Dies gilt ebenso für Abhänge, deren Ursprung in der Gestaltung der Erdoberfläche selbst liegen, wie auch für Böschungen, die durch technische Einwirkungen entstanden sind. Technische Projekte für Linien - oder auch für Wohnungsbauten werden immer mehr in Gebieten mit nicht ganz stabiler Erdstruktur realisiert. In den ökonomisch wichtigen Gebieten wird gewöhnlich die Stabilität der potenziellen Rutschungszonen für ingenieurgeologische Entscheidungen und Baubewilligungen mit einem geodätisch vermessen Punktfeld überprüft. In unserem Institut haben wir, da bei schwer zugänglichen Gebieten für solche Vermessungen ein grosser finanzieller Aufwand notwendig ist, untersucht in wie weit photogrammetrische Methoden im Bezug auf die notwendige Genauigkeit für die Verfolgung von Erdrutschungen des Types "Kriechen" und "Rutschung" verwandbar sind.^{x/} In diesem Beitrag werden hauptsächlich die Ergebnisse einer Analogauswertung von Erdrutschungen durch terrestrische Stereophoto-

x/ Unter "Kriechen" verstehen wir nach (2) eine langsame aus geologischer Sicht gesehen in der Regel sich nicht verschnellende Bewegung der Erdmassen. Die Grösse der Rutschungen beträgt mm bis cm pro Jahr, eventuell in 10 Jahren.

"Rutschung" ist eine relativ schnelle kurzdauernde Bewegung der Erdmassen mm bis m pro Tag. Ein Teil der Masse wird auf das ursprüngliche Gelände gelagert.

grammetrie dargestellt; andere photogrammetrische Verfahren werden nur angedeutet.

Für Ingenieurgeologen und Fachleute auf dem Gebiet der Erdmechanik haben Ergebnisse aus periodischen Beobachtungen eine grundsätzliche Bedeutung. Aus diesem Grunde haben wir uns auf verschiedene Auswertmöglichkeiten, die in ihrer gegenseitigen Kombination globale Informationen über die Entwicklung von Erdrutschungen darstellen können, konzentriert.

2. METHODEN UND AUSDRUCKMÖGLICHKEITEN DER PHOTOGRAMMETRIE.

Im Allgemeinen verwenden wir bei der photogrammetrischen Auswertung nur einen Teil der ursprünglich auf den Messbildern registrierten Informationen der Erdoberfläche, die aber das untersuchte Objekt hinsichtlich der gestellten Forderungen genügend genau charakterisieren.

Bezüglich der angewendeten Methoden aus der terrestrischen oder Aerophotogrammetrie werden hauptsächlich analoge oder analytische Auswertungen benützt. Bei der analytischen Auswertung ist die Definition des ausgewerteten Punktes- d.h. seine Signalisierung-von grosser Bedeutung. Die Analogauswertung ist weniger anspruchsvoll in Bezug auf die Anzahl der signalisierten Punkte, gibt aber in ihrer graphischen Ausdrucksform mehr Informationen über das Objekt, wenn auch mit geringerer Genauigkeit. Bei der analytischen Auswertung ist die Genauigkeit der Ergebnisse grösser, es fehlt aber die Anschaulichkeit. Eventuelle Fehler können erst nach der Auswertung im Vergleich mit früheren Messetappen entdeckt werden.

Das auszuwertende Rutschungsgelände kann man wie folgend ausdrücken:

- n u m e r i s c h /digital/ durch einen Punkthaufen
- g r a p h i s c h in der Form von Profilen, Höhensichtlinien und Grundriss, aber auch durch Kartierung ausgewählter Punkte,
- p h o t o g r a p h i s c h durch Photoplan oder Orthophoto.

Das letztgenannte Verfahren bietet die grösste Menge von Informationen. Bei der sogenannten intergrierten Methode werden die Lageelemente der Informationen in der Form eines Orthophotoplanes ausgedrückt, die Höheninformationen als Höhenschraffur oder aus Segmente der Höhenschichtlinien usw.

Das zweite Verfahren ist zur Zeit in der Praxis das interessanteste. Die Ergebnisse sind sehr ausdrucksreich und einfach zu reproduzieren.

Das erste Verfahren wird immer mehr verwendet, hauptsächlich im Zusammenhang mit der Automatisierung der Auswertungs- und Kartierungsarbeiten.

3. BEISPIELE DER AUSWERTUNGEN

Das Ziel unserer Arbeit war eine Untersuchung der Methoden der terrestrischen Photogrammetrie, deren allgemein gültiger Vorteil die schnelle Einsatzfähigkeit bei den Aufnahmen der untersuchten Gebiete ist. Bei der Auswertung haben wir uns auf analoge Verfahren orientiert, die eine schnelle und anschauliche Darstellung der Messergebnisse für den Ingenieurgeologen ermöglichen. Die Messbilder wurden mit dem Phototheodolit PHOTHEO 19/1318 aufgenommen. Für die Auswertung wurde der Stereoautograph EL mit dem Coordinimeter D verwendet.

Ausser der Beurteilung der Zweckmässigkeit der Analogauswertung haben wir uns auch mit dem analytischen photogrammetrischen Vortrittseinschnitt befasst mit dem Ziel eine durch präzise geodetischen Methoden erreichbare Genauigkeit zu erreichen.

3.1 Graphische Analogauswertung.

Punktauswertung. Dieses Verfahren der Auswertung von natürlichen oder künstlich signalisierten Punkten ist allgemein bekannt. Periodische Vermessungen der untersuchten Punkte werden am häufigsten in der Form von Lagevektoren und durch eine Zahlenangabe oder graphische Darstellung der Höhenveränderungen dargestellt.

Die Auswertegenauigkeit hängt vom Basisverhältniss und der Signalisierung der ausgewerteten Punkte ab. Bei natürlichen Punkten in schwer zugänglichen Geländen ist die Auswertegenauigkeit wegen geringem Kontrast oder nicht eindeutiger Definition, die durch unterschiedliche Beleuchtung oder Schattenbildungen beeinträchtigt sind, geringer.

Die Schichtlinienauswertung ist eine am meisten verwendete Ausdrucksform für das Gelände. Dieses Verfahren, wenn es auch eine geringere Genauigkeit als die Punktauswertung erreicht, gibt mehr Informationen über die Geländegestaltung, die Erdmassenbewegung und über die Entwicklung der Böschungsbewegungen hauptsächlich bei periodischen Untersuchungen (Bild 1). Die Beurteilung der Schichtlinienpläne kann durch Überhänge erschwert werden. Eine perspektive Abbildung der Schichtlinien im Messbild erleichtert die Identifizierung der Schichtliniengestaltung im Gelände.

Weitere Möglichkeiten, die globale Informationen über das Gelände geben, sind Quer- und Längsprofile. Aus der perspektiven Darstellung der Querprofile auf dem Bild 2 wird im Bild 3 das Profil Nr. 25 gezeigt. Auf diesem Bild sind 14 Etappen dieses Querprofiles dargestellt, wobei jedes um einen konstanten Betrag verschoben worden ist. Wir sehen hier ein sich entwickelndes Überschlagen der Steinwand. Aus den Differenzen zwischen den Profilen beispielsweise der 10. und 11. Etappe kann man die Zone der Massenakkumulation wie auch die Zone des Massenabbaues sehr gut erkennen.

Die Längsprofile bieten eine weitere Ausdrucksmöglichkeit für die Geländegestaltung oder seiner Veränderungen. Auf dem Bild 4

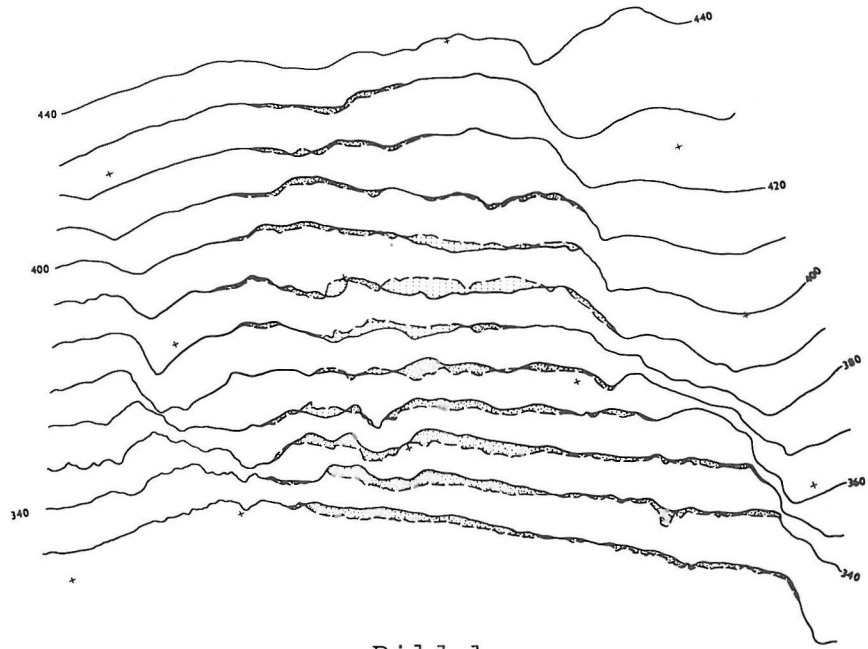


Bild 1

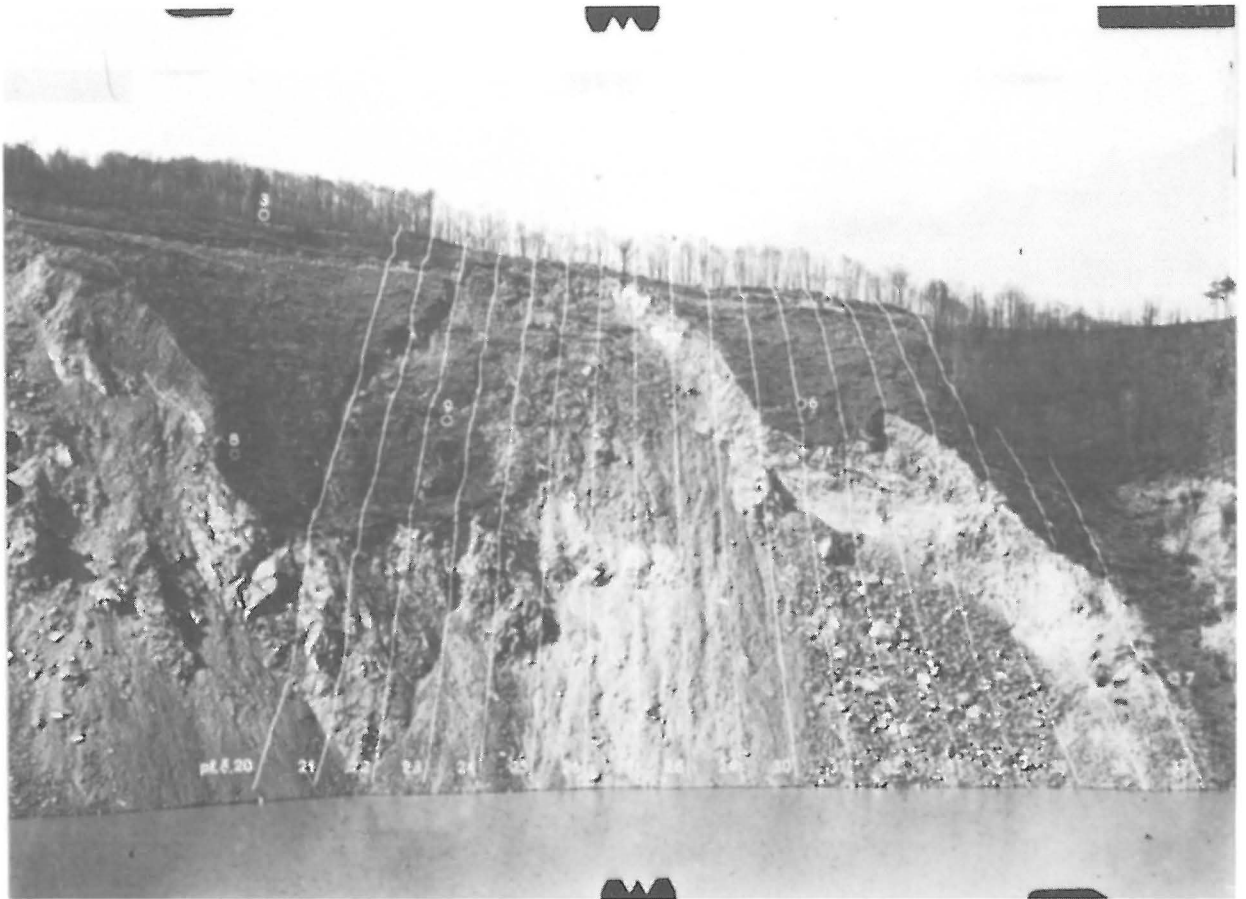


Bild 2

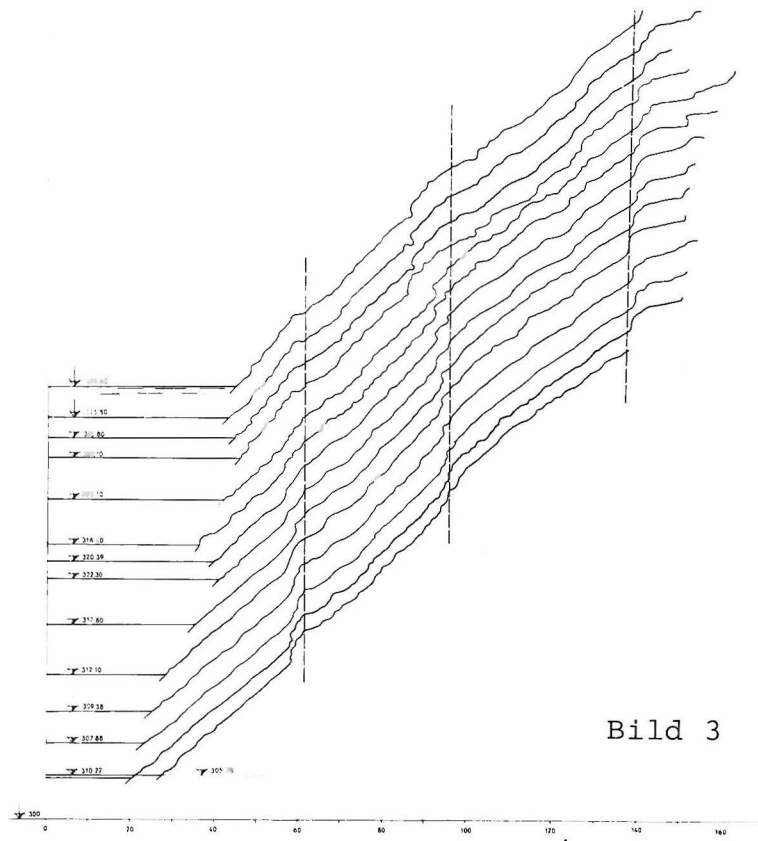


Bild 3



Bild 4

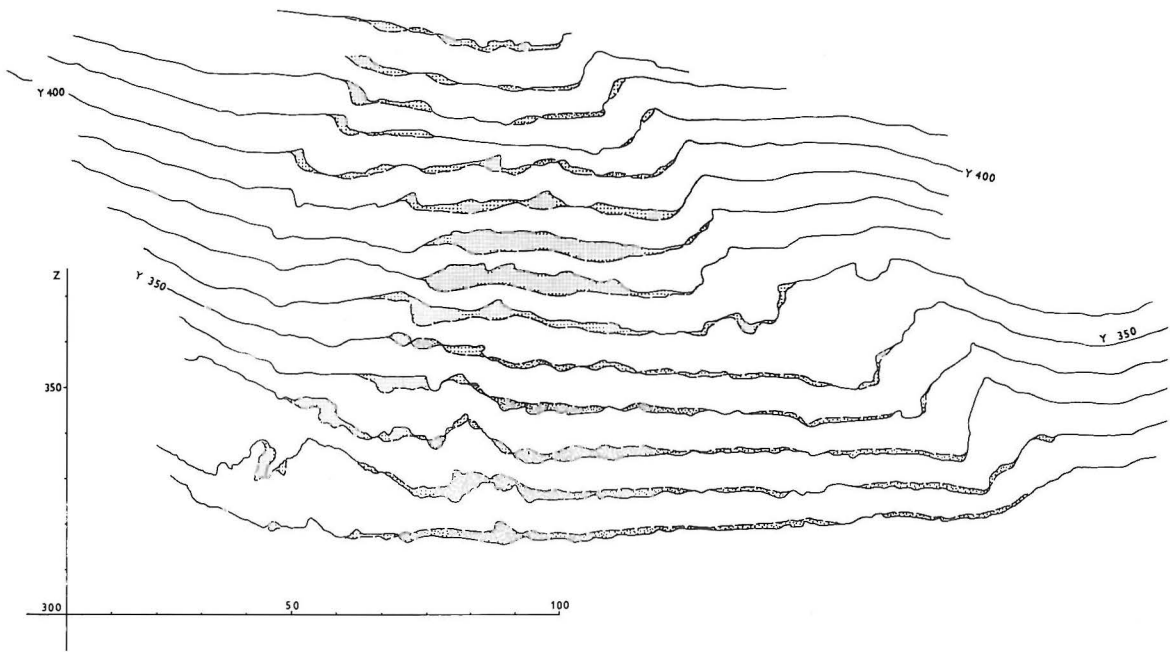


Bild 5

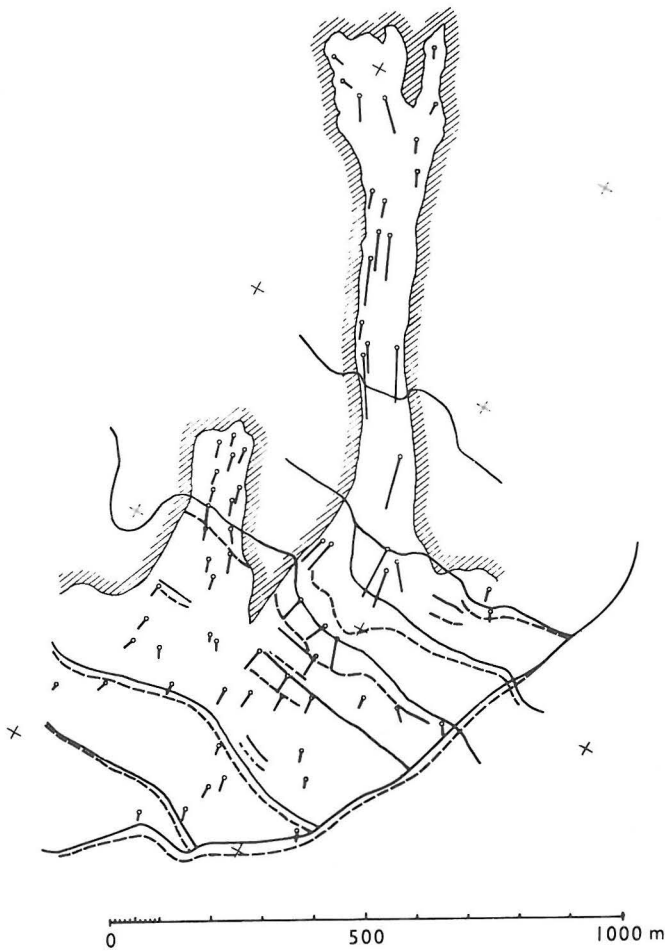


Bild 6

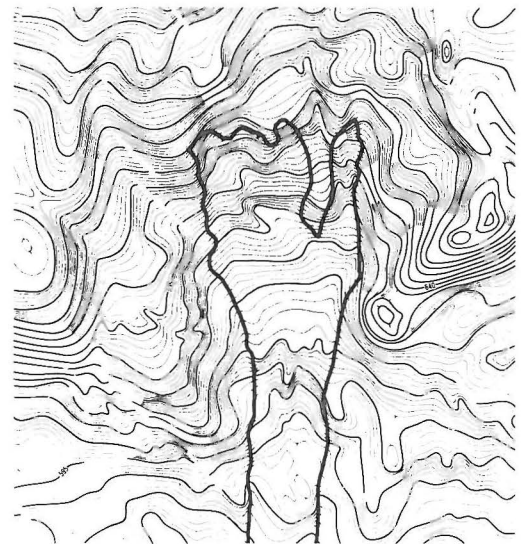


Bild 7

sind die parallel zur Aufnahmebasis mit jeweils Entfernungsdifferenzen aus der ersten Etappe ausgewertete perspektiven Längsprofilen dargestellt. Ihre orthogonale Darstellung /Vorderansicht/ im Bezug auf die 13. Etappe wird auf dem Bild 5 gezeigt. Durch ein regelmässige Raster zwischen den Querschnitten ist die Zone des Massenabbaues dargestellt; durch ein unregelmässige Raster ist die Zone der Massenakkumulation ähnlich wie auf Bild 1 veranschaulicht.

Eine komplexe Lageauswertung und Lageveränderungen kommt bei der terrestrischen Stereophotogrammetrie nur selten in Betracht. Es werden gewöhnlich nur der Aufnahmebasis zugewendete Details, Trennungslinien u.ä. ausgewertet.

Die Analogauswertung von Luftbildern ermöglicht eine Auswertung von Schichtlinien und der Lagegestaltung, eventuell auch eine Punktauswertung von nichtsignalisierten Gegenständen, z.B. Bäume, Sträucher u. ä. Diese Auswertungen, wenn sie auch mit einer geringerer Genauigkeit als bei geodätischen Vermessungen oder terrestrischen Auswertungen behaftet sind, haben ihren Sinn und Bedeutung bei grossräumlichen Rutschungen.

Auf dem Bild 6 ist die Erdrutschung (Winter 1960/61) durch Vektorverschiebungen der zu identifizierbaren Bäume hinsichtlich ihrer Lage aus dem Jahre 1955 dargestellt. Auf dem vereinfachten Lagegrundriss sind nur Objekte linearen Charakters (Strassen, Gelände- oder Eigentumsgrenzen) dargestellt. Die Gestaltung aus dem Jahr 1961 ist mit einer unterbrochenen Linie gezeigt. Der Autor dieses Beitrages will die Aufmerksamkeit auf den nicht-natürlichen Verlauf der Feldwege, die das Rutschungsgebiet kreuzen, richten. Schon aus der Auswertung der Luftbilder aus dem Jahre 1955 ist ersichtlich, dass sich diese Feldwege in der Richtung der "Kriechbewegungen" gekrümmt haben. Dies' signalisierte schon eine Katastrophe, die jedoch damals niemand erkannt hat.

Die Kriechbewegungen des Geländes hätte man durch die rauhere Geländestruktur, nichtabflussbare Depressionen und Erhöhungen aus den Luftbildern erkennen können. Die Trennungslinie erscheint in einem schwärzeren Ton des üppigeren Grassbestandeswegen. Auf dem Schichtlinienplan (Bild 7) unterscheidet sich die Geländegestaltung von der klassischen geomorphologischen Gestaltung des Geländes. Die Schichtlinien weisen markant auf Orte, in denen es schon früher in nichtwahrnehmbarer Form zu Erdbewegungen gekommen war.

Für die Vollständigkeit dieses Abschnittes muss man sagen, dass für die Untersuchung von Erdrutschungen auch die Ergebnisse der sogenannten integrierten Methode verwendet werden können. Die Lageinformationen und deren Veränderungen sind bei der Orthophototechnik im Kartenmasstab. Bei Stereophotographischer Betrachtung von zeitlich verschiedener Orthophotobilder kann man durch Deformationsparalaxen die Bewegungszone lokalisieren. Die Grösse und die Richtung der Bewegungen von identischen Punkten erhalten wir im Kartenmasstab durch Abmessung und Registrierung deren Koordinaten.

3.2 Digitale Analogauswertung.

Analoge Auswertegeräte mit Registriereinheiten erlauben eine Auswertung der räumlichen Modellkoordinaten in numerischen Informationen. Dabei kann eine diskrete oder kontinuierliche Punktmenge ausgewertet werden. Die Genauigkeit einer Digitalauswertung ist grösser als die graphische. Es wirken sich z.B. Übersetzungsfehler, die Exzentrizität der Kartierungsnaedel usw. nicht aus. Eine solche Auswertung ermöglicht auch durch eine geeignete Transformation weitere Fehlereinflüsse zu vermindern.

Bei der Auswertung der erste Lokalität (Bilder 1-5), im Modellmasstab 1:2000 und bei einem Basisverhältniss von 1:6 bis 1:12 haben wir bei 69 auch geodätisch gemessenen Punkten die folgenden Koordinatenfehler erreicht:

$$m_y = 0,11 \text{ m} \qquad m_x = 0,03 \text{ m} \qquad m_z = 0,04 \text{ m}$$

Die Genauigkeit der graphischen Auswertung war bei denselben Verhältnissen 2 bis 4 mal kleiner.

Moderne Auswertegeräte der terrestrischen und Aerophotogrammetrie ermöglichen eine Digitalisierung der Lageverhältnisse wie auch der Höhenschichtlinien und Querschnitte. Diese Ergebnisse kann man weiter für Kubaturberechnungen der in Bewegung stehenden Erdmassen, weiter für Konstruktionen von Isolinien der Bewegungsgeschwindigkeiten u.ä. verwenden.

3.3 Analytische Auswertung.

An dieser Lokalität haben wir ausser der stereophotogrammetrischen Afnahme und verschiedener Analogauswertungsverfahren auch analytische Einschneideverfahren mit Einführung von Korrekturen der inneren und äusseren Orientierung jeder Aufnahmeplatte getestet (1). Die Bildkoordinaten wurden am Monokomparator Kommes ausgemessen. Im Vergleich mit den geodätisch ermittelten Koordinaten erzielten wir von der cca 360 m langen Aufnahmebasis an signalisierten Punkten im Entfernungsbereich von 250-550 m mittlere Fehler.

$$m_y = 13 \text{ mm} \qquad m_x = 4 \text{ mm} \qquad m_z = 13 \text{ mm}$$

Es erwies sich, dass mittels dieses Verfahrens die Genauigkeit der photogrammetrischen Punktbestimmung sehr nahe der präzisen geodätischen Methoden ist.

Der Relativfehler der Entfernungsbestimmung dieser Punkte liegt dann Bereich 1:15 000 - 1:36 000.

4. ZUSAMMENFASSUNG

Der Beitrag enthält Informationen über Verfahren der Analogauswertung hauptsächlich aus terrestrischen stereophotogrammetrischen Aufnahmen bei Vermessungen von Erdrutschungen. Dabei werden alle Vorteile und Auswertemöglichkeiten, die das Auswertesystem Stereoautograph EL mit der Registriereinheit Coordimeter D

bietet, ausgenutzt. Es wird auch weitere Möglichkeiten einer Automatischen Bearbeitung von numerischen Informationen von der Auswertung bis zu ihrem graphischem Ausdruck mit automatischen Koordinatographen eingegangen. Es wird weiter auf die Möglichkeiten der integrierten Methode in dieser Applikation aufmerksam gemacht.

Wie wir gesehen haben, kann man die Methoden der Analogauswertung bei Vermessungen von Erdrutschungen des Types "Rutschung" eventuell "Kriechen" (in längeren Zeitabschnitten) erfolgreich verwenden. Bei Böschungsbewegungen des Types "Fliesen" und "Einsturz", deren Verlauf sehr kurz ist, kann man nur die Endergebnisse der Gesamtdeformationen auswerten. Fachleute auf dem Gebiet der Ingenieurgeologie haben die globalen Informationen, die aus der Kombination verschiedener Auswertemöglichkeiten der Photogrammetrie entstehen, sehr hoch geschätzt.

Fachleuten, die sich mit topographischen Kartierung aus Luftbildern befassen, soll dieser Beitrag auf eine frühzeitige Erkennung von potenzionellen Erdrutschungen, die eine grosse Bedeutung hauptsächlich in ökonomisch wichtigen Gebieten haben, zur Aufmerksamkeit anregen.

LITERATUR:

- (1) ČERŇANSKÝ, J. : Analytisches räumliches Vorwarteinscheiden in der terrestrischen Photogrammetrie (slow.) Geodetický a kartografický obzor, Praha 22 (1976) 10, p. 282-287.
- (2) NEMČOK, A. - PAŠEK, J. - RYBÁŘ, J. : Classification of landslides and other mass movements. Rock Mechanics, Wien - New-York (1972) 4, p. 71-78.
- (3) PETRÁŠ, J. : Photogrammetrische Analogauswertung von Erdrutschungen (slow.) Geodetický a kartografický obzor, Praha 22 (1976) 9, p. 256-260.