



**Internationales Symposium
INTERPRAEVENT 1984 — VILLACH**
Tagungspublikation, Band 2, Seite 119—132

Analyse von Rutschgebieten mit Hilfe von multitemporären Luftbildern

Analysis of Unstable Grounds by Multitemporary Aerial Photographs

Analyse de terrains instables
à l'aide de photographies aériennes multitemporaires

Otto Kölbl, Lausanne (Schweiz)

Zusammenfassung

Im Rahmen einer Studie zur Erfassung und Analyse von Rutschgebieten hat das Institut für Photogrammetrie der Eidg. Technischen Hochschule in Lausanne verschiedene photogrammetrische Verfahren für die quantitative Analyse der Rutschbewegungen entwickelt. Diese Verfahren basieren einerseits auf der Auswertung multitemporärer Luftbilder. Mit dem in der Schweiz zur Verfügung stehenden Luftbildmaterial für die Kartennachführung lassen sich die Rutschbewegungen der letzten zwanzig Jahre erfassen und Bewegungen von 3 bis 5 cm pro Jahr mit Sicherheit nachweisen. Eine weitere Möglichkeit ist die Erfassung des Massenhaushalts von Rutschbewegungen mit detaillierten Höhenschichtenplänen; schliesslich konnten mit grossem Erfolg Falschfarbenaufnahmen für die geomorphologische Kartierung der Rutschgebiete herangezogen werden. Diese Verfahren wurden im Rahmen einer interdisziplinären Studie für verschiedene Testgebiete der Schweiz eingesetzt.

Summary

The Institute of Photogrammetry of the Swiss Federal Institute of Technology of Lausanne has developed different procedures for the quantitative analysis of unstable grounds. This study has been performed within an interdisciplinary research work for the "Detection and analysis of unstable grounds". The photogrammetric procedures are based on the one hand on the use of multitemporary photographs. With the help of the aerial photographs which are flown for map revision, it is possible to detect and measure ground movements of 3-5 cm per year for observation periods going back till about 20 years. An other possibility is the analysis of the balance of masses of unstable grounds with the help of detailed contour maps; finally false color photographs have been used with great success for geomorphological mapping of unstable grounds. These different procedures have been used for an interdisciplinary study for different test sites in Switzerland.

Résumé

L'Institut de photogrammétrie de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne a développé différents procédés pour l'analyse quantitative des terrains instables à l'aide de la photogrammétrie. Ces travaux ont été réalisés dans le cadre d'une étude interdisciplinaire pour la saisie et la détection des terrains instables. Les procédés photogrammétriques se basent d'une part sur la restitution des prises de vues aériennes multitemporaires, les photographies aériennes utilisées pour la mise à jour des cartes nationales permettant de détecter et d'analyser des mouvements de terrain de 3 à 5 cm par année pour des périodes d'observation de ces vingt dernières années; d'autre part, il est possible de saisir les bilans de masses avec des plans hypsométriques détaillés. Finalement, des photographies aériennes fausses couleurs ont été utilisées avec beaucoup de succès pour la cartographie géomorphologique des terrains instables. Ces travaux ont été effectués dans diverses régions de test en Suisse.

1. Problemstellung

Die Eidgenössische Technische Hochschule in Lausanne richtet für Forschungsaufgaben von hoher aktueller Bedeutung, welche eine interdisziplinäre Zusammenarbeit erfordern, sogenannte "Projets d'Ecole" (Hochschulprojekte) ein. Unter anderem wurden in den letzten Jahren auf diese Weise folgende Aufgabengebiete bearbeitet :

- öffentlicher Verkehr in Ballungsgebieten
- Energie
- industrielle Roboter
- medizinische Intensivpflege

Kennzeichen dieser Hochschulprojekte ist, dass sie über ein spezielles Budget verfügen, strikt auf eine Dauer von 4 Jahren begrenzt sind; ferner bedingt der Themenkreis eine Zusammenarbeit von mehreren Fakultäten der Hochschule. Eines dieser Projekte befasst sich mit der Erfassung und Nutzung von Rutschgebieten ("Détection et utilisation de terrains instables"). Das Projekt wurde 1980 begonnen und soll helfen den Mechanismus von Rutschgebieten besser zu verstehen. Im wesentlichen handelt es sich darum, eine Methodologie für die Erstellung von Risikokarten zu erarbeiten, das Verhalten von Rutschgebieten und deren Modellierung besser zu verstehen und schliesslich das Verhalten von Gebäuden in Rutschgebieten zu studieren und eventuelle Vorkehrungen zu treffen. Neben einer Reihe von Instituten der Fakultät für Bauingenieurwesen arbeiten auch das "Institut de géodésie et mensuration" und das "Institut de photogrammétrie" an dem Projekt mit. Figur 1 gibt eine Übersicht über die wichtigsten Zonen welche im Rahmen des Projekts DUTI bearbeitet werden und an denen sich die Photogrammetrie beteiligte.

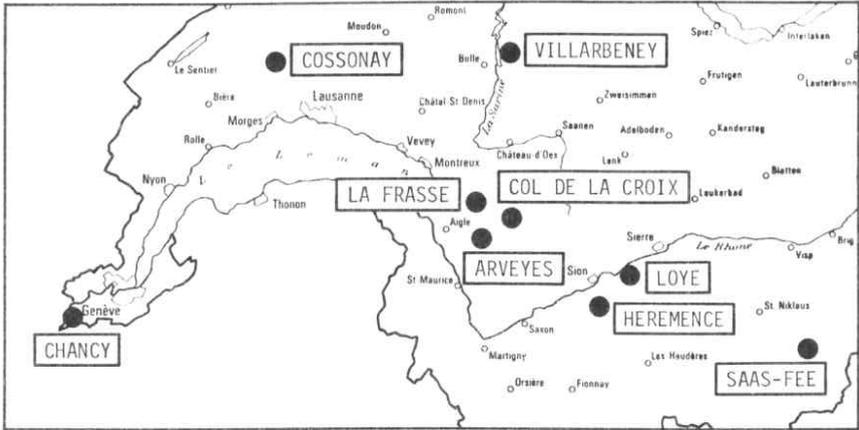


Fig. 1

Übersicht über die wichtigsten Testgebiete des Projekts DUTI an denen sich die Photogrammetrie beteiligte. (Kartenausschnitt reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 6.10.1983)

Most important test sites for which photogrammetric measuring technics have been used.

Aperçu des principaux sites d'études du projet DUTI auxquels la photogrammétrie a participé.

Luftbilder stellen für die Analyse von Rutschgebieten und geologische Untersuchungen ein äusserst wertvolles Dokument dar. Die Auswertung dieser Luftbilder kann sich dabei auf die reine Luftbildinterpretation beschränken oder es werden mit Hilfe von multitemporären Aufnahmen unmittelbar die Rutschbewegungen selbst ausgemessen. Beide Verfahren wurden für die verschiedenen Regionen eingesetzt. Im Folgenden werden im wesentlichen anhand des bekannten Rutschgebiets La Frasse, in den Waadtländer Alpen, die Ergebnisse der photogrammetrischen Messungen sowie der Luftbildinterpretation erläutert.

Bei der reinen Photointerpretation wird im wesentlichen das Erscheinungsbild der Erdoberfläche zurzeit der Aufnahme analysiert, um Anzeichen für Risikogebiete zu erhalten. Wichtigste Kennzeichen derartiger Zonen sind Vernässungen, ein unregelmässiges hydrographisches Netz, sowie Besonderheiten der Vegetation und der Geomorphologie. Da dem Erscheinungsbild der Vegetation eine grosse Bedeutung zukommt empfiehlt es sich Falschfarbenbilder zu verwenden. Die Zeit nach der Schneeschmelze und noch vor der Heumahd bzw. der Beweidung der Almen sind die günstigste Aufnahmezeit, da zu dieser Zeit die Vegetation sich ungestört entfaltet ohne unmittelbare Anzeichen von Eingriffen von aussen her. Sehr gut bewährt hat sich der Aufnahmemassstab 1:10.000.

Für die Verschiebungsmessungen wurden die Luftbilder des Bundesamts für Landestopographie verwendet. Der Massstab dieser Aufnahmen in schwarzweiss schwankt zwischen 1:18.000 und 1:24.000, gegenwärtig wird der Aufnahmemassstab von 1:24.000 angestrebt. Dieses Bundesamt führt eine systematische Befliegung des gesamten Landesgebietes durch. Die Aufnahmen dienen für die Nachführung der Landeskarte; gegenwärtig ist der dritte Nachführungszyklus in Bearbeitung. Damit steht für die Beobachtung von zeitlich veränderlichen Erscheinungen eine systematische Überdeckung der ganzen Schweiz zur Verfügung, welche bis in die fünfziger Jahre zurückreicht. Für die hier aufgeführten Arbeiten standen 5 Aufnahmeserien zur Verfügung: Bildflüge von 1957, 1969, 1974, 1980 und 1982. Die Aufnahmen überdecken Zeiträume von sehr unterschiedlichen klimatischen Verhältnissen und es ist damit möglich eine enge Beziehung zwischen den Verschiebungsbewegungen und der Niederschlagshäufigkeit herzustellen.

Im folgenden Kapitel wird zunächst auf die Auswertetechnik von multitemporären Aufnahmen eingegangen. Im nachfolgenden Kapitel wird die Genauigkeit analysiert und die enge Relation zwischen Niederschlagshäufigkeit und Rutschbewegungen diskutiert. Schliesslich werden die Möglichkeiten der Luftbildinterpretation für die Analyse von Rutschgebieten aufgezeigt.

2. Auswertung von multitemporären Aufnahmen

Das Verfahren sieht im wesentlichen Relativmessungen von Aufnahmen aus verschiedenen Jahren vor, ohne Bezug auf terrestrische Vergleichsmessungen oder die Bestimmung von Passpunkten. Als Referenz zwischen den Messungen in den verschiedenen Luftbildern dienen idente Punkte, welche in stabilem Gelände ausgesucht werden. In der Vorbereitungsphase wird zunächst eine möglichst grosse Anzahl von Punkten in den eigentlichen Rutschgebieten ausgewählt. Es ist wichtig, dass diese Punkte zumindestens in zwei aufeinander folgenden Aufnahmeserien sicher identifiziert werden können. Im Durchschnitt konnten ca. 100 Punkte in je 2 Aufnahmeserien identifiziert werden. Andererseits wird auch eine Anzahl von Referenzpunkten ausserhalb des Rutschgebietes identifiziert, welche für die Orientierung dienen. Es empfiehlt sich darauf zu achten, dass diese Orientierungspunkte das gesamte Rutschgebiet umschliessen; sollte die von einem einzelnen Luftbildpaar gedeckte Fläche nicht ausreichen, um das gesamte Rutschgebiet zu umschliessen, so wäre auf einen grösseren Bildverband zurückzugreifen. Die Bildauswertung würde dann nicht mehr auf Einzelmodellauswertung basieren, sondern es müsste eine Aerotriangulation vorgesehen werden. Die Ausmessung eines Bildverbands hat den Vorteil, dass auch systematische Fehler im Bildmaterial berücksichtigt werden können und die Genauigkeit im Vergleich zur Einzelmodellauswertung noch erheblich gesteigert werden kann.

Da bei Verschiebungsmessungen eine zuverlässige Referenz von entscheidender Bedeutung ist wurden die Referenzpunkte mit grösster Sorgfalt ausgewählt. Um in dieser Hinsicht sämtliche möglichen Vorsichtsmassnahmen zu treffen, wurde die Lage dieser Punkte im Gelände in Zusammenarbeit mit einem Geologen kontrolliert. Bei der photogrammetrischen Messung wird die Position sämtlicher

Referenz- und Detailpunkte an einem geeigneten Stereomessgerät (Stereokartiergerät oder analytisches Auswertegerät) bestimmt. Um eine möglichst hohe Messgenauigkeit sicherzustellen wurden sämtliche Punkte mehrfach ausgemessen. Für die Arbeiten am Rutschgebiet von La Frasse lagen damit zunächst Messungen in 5 Modellen aus zeitlich unterschiedlichen Perioden vor. Ein zunächst willkürlich gewähltes Referenzmodell (Messungen von 1974) wurde mit einigen wenigen Passpunkten, welche aus der Landeskarte 1:25.000 abgegriffen wurden, näherungsweise in das Landessystem transformiert. Die transformierten Koordinaten dieses Referenzmodells dienten in der Folge als Bezug für alle übrigen Modellmessungen. Die Transformation auf das Referenzmodell erfolgte mit Hilfe der bereits erwähnten Passpunkte in stabilem Gelände.

Figur 2 zeigt eine Übersicht des Untersuchungsgebietes La Frasse; das eigentliche Rutschgebiet ist mit einer strichlierten Linie umrissen. Ausserhalb dieser Zone wurden ca. 20 Passpunkte ausgewählt und als Referenzpunkte für die Einpassung der übrigen Bildmessungen verwendet. Aus der Differenz zwischen den Detailpunktmessungen der verschiedenen Aufnahmen kann nach deren Transformation unmittelbar die Rutschbewegung abgelesen werden. Figur 3 vermittelt eine Übersicht über die so ermittelten Rutschbewegungen für die 4 analysierten Zeiträume.

3. Analyse der Ergebnisse und Genauigkeitsüberlegungen

Die in der Region La Frasse ausgeführten Untersuchungen standen am Anfang einer grösseren Anzahl von ähnlichen Arbeiten und es wurde daher ein grosses Augenmerk auf Plausibilitätsüberlegungen, Genauigkeitsanalysen und eine Analyse der Zuverlässigkeit gelegt. Für die Genauigkeitsanalyse von photogrammetrischen Messungen werden im allgemeinen terrestrische Vergleichsmessungen verwendet. Obgleich in dem Rutschgebiet simultan eine geodätische Equipe mit verschiedenen Analysen tätig war (vgl. [1]) zeigte sich sehr schnell, dass die Ergebnisse der geodätischen Messungen nur äusserst beschränkt mit den photogrammetrischen Messungen verglichen werden können.

Einer der Gründe ist, dass die photogrammetrischen Messungen im allgemeinen auf andere Punkte abstützen als die geodätischen Messungen; noch viel einschneidender ist jedoch, dass der Geodät auf frühere Messungen angewiesen ist, die in den seltensten Fällen systematisch für die Beobachtung von Rutschbewegungen angelegt wurden. Vielmehr wird er versuchen sich auf sämtliche verfügbaren lokalen Messungen abzustützen, die nur sehr selten ein umfassendes Bild über die Rutschbewegungen der gesamten Region zulassen. In Tabelle 1 wurden die in der Region La Frasse durchgeführten geodätischen Messungen den verschiedenen Beobachtungsperioden der photogrammetrischen Messungen gegenübergestellt. Man erkennt, dass die ausgewiesenen Rutschbewegungen grössenmässig übereinstimmen, die einzelnen Zahlenwerte aber grosse Abweichungen aufweisen. Es darf aber nicht übersehen werden, dass zeitlich sehr grosse Schwankungen bei den Rutschbewegungen zu verzeichnen sind. Die geodätischen Messungen eignen sich damit durchaus als Plausibilitätskontrolle für die wesentlich differenzierteren Werte der Photogrammetrie, erlauben aber keine durchgreifende Kontrolle.

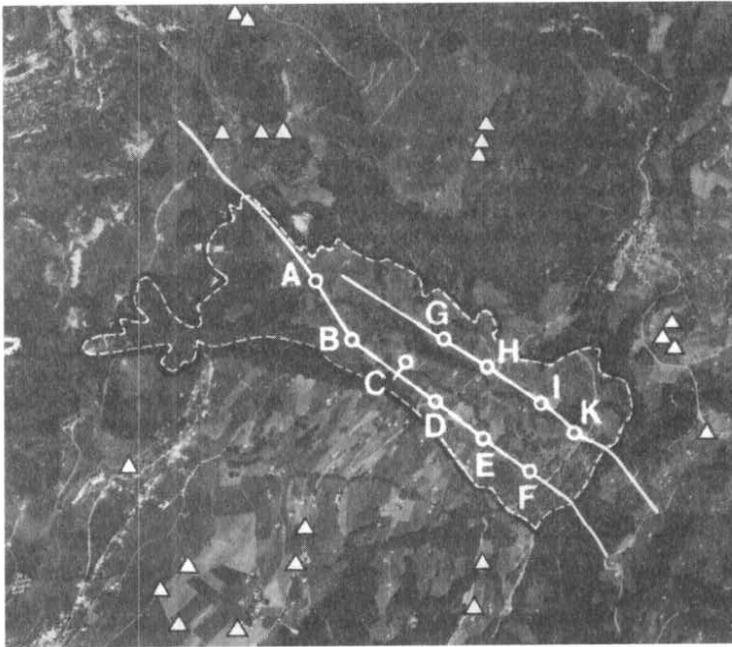


Fig. 2

Ausschnitt aus einem Luftbild der Region "La Frasse". Das Hauptgebiet der Rutschbewegungen wurde durch eine strichlierte Linie abgegrenzt. Die Dreiecke bezeichnen die Referenzpunkte der Orientierung, welche als stabil betrachtet wurden. Diese Punkte dienten als Passpunkte für die Transformation der Messungen der verschiedenen Jahre. Das Polygon mit den Punkten A bis F bezieht sich auf das Profil von Figur 4 und auf die Tabelle 1. (Photographie reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 6.10.1983)

Section of aerial photograph of the test site "La Frasse". The principal landslide is surrounded by a broken line. The triangles indicate the points of reference in grounds, which were considered as stable. These points have been used as control points for the transformation of the measurements of the different years. The polygon with the points A to F indicates the position of the profile of figure 4 and refers to the point numbering of table 1.

Extrait d'une prise de vue aérienne de la région de "La Frasse". La zone de glissement principale est délimitée par une ligne traitillée. Les triangles indiquent les points de référence considérés comme stables. Ces points ont servi de points de calage pour la transformation des mesures des différentes années. La ligne polygonale avec les points A - F indique la position du profil sur la figure 4 et dans le tableau 1.

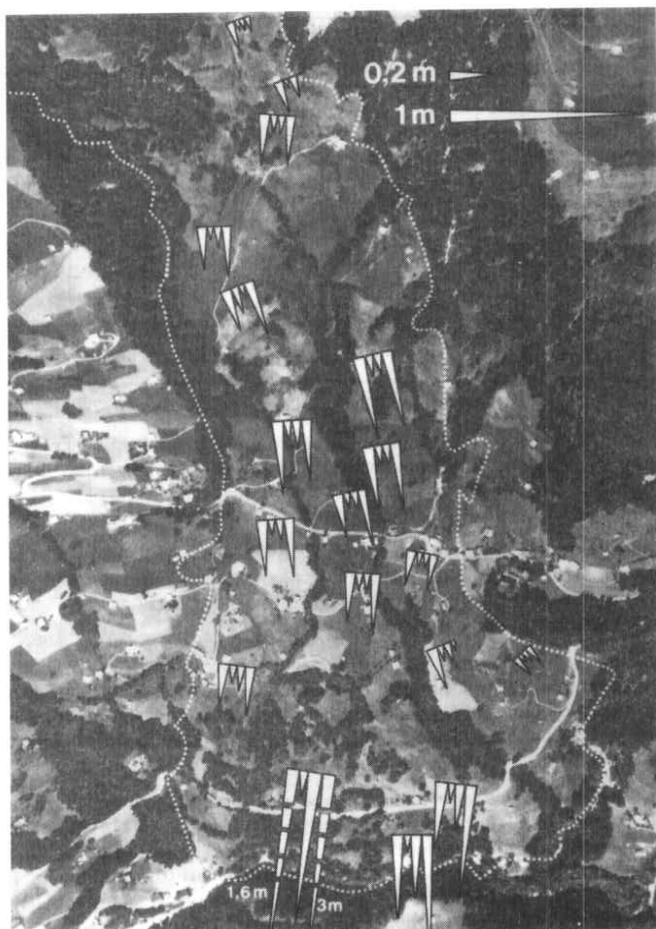


Fig. 3

Rutschbewegungen pro Jahr für die Perioden 1957-69 (Pfeile links), 1969-74 (Pfeile anschliessend), 1974-80 und 1980-82 (Pfeile ganz rechts). Die Darstellung begrenzt sich auf eine Auswahl von Punkten. (Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 6.10.1983)

Grounds displacements for the periods 1957-69 (left arrows), 1969-74 (adjacent arrows), 1974-80 and 1980-82 (right arrows). The presentation is limited to a selection of points.

Déplacement du terrain pour les périodes 1957-69 (flèches à gauche), 1969-74 (flèches adjacentes), 1974-80 et 1980-82 (flèches tout à droite). La présentation se limite à une sélection de points.

Punkte	Mittlere jährliche Verschiebung (cm/Jahr) entsprechend :								
	photogrammetrischen Messungen					geodätischen Messungen			
	1980 1982	1974 1980	1969 1974	1957 1969	1957 1980	1966 1981	1951 1981	1932 1981	1851 1981
A	23	9	9	21	15			9	
F	304	73	10	160	105	68			
K	53	25	8	32	25	21			
H	25	6	8	17	12		16		9
Ecart- type	± 7	± 2.5	± 4	± 4	± 2	> ± 0.5			

Tabelle 1

Vergleich der Geländeverschiebungen entsprechend photogrammetrischer und geodätischer Messungen. Die Punktnummern entsprechen dem in Fig. 4 aufgezogenen Profil. Die Unterschiede zwischen den beiden Messmitteln sind im wesentlichen auf unterschiedliche Beobachtungsperioden zurückzuführen.

Comparison of the displacements determined by photogrammetric and terrestrial measurements. The point numbering corresponds to the profile shown in Fig. 4. The differences between the two measuring methods are essentially due to different observation periods.

Comparaison des déplacements déterminés par photogrammétrie et des valeurs de mesures terrestres. Les points correspondent à ceux marqués dans le profil de la fig. 4. Les différences entre les deux moyens de mesure sont essentiellement dues aux différentes périodes prises en considération.

Eine Genauigkeitsanalyse der photogrammetrischen Messungen lässt sich an sich nur aus internen Kontrollen ableiten. Für diese Analysen kann man sich einerseits auf den Beobachtungsfehler, abgeleitet aus Doppelmessungen, abstützen, zum anderen können dazu die Restfehler der Orientierung herangezogen werden. Schon um die Messgenauigkeit zu erhöhen und die Identifizierungsfehler zu verringern, wurden sämtliche Detailpunkte zweimal beobachtet. Auf diese Weise wurden ca. 100 bis 150 Punkte pro Modell gemessen; aus diesen Doppelmessungen leitet sich ein mittlerer Fehler für eine Einzelmessung von 3-5 μm im Bild ab, der Standardfehler für das Mittel aus Doppelmessungen beträgt damit 2-4 μm . Dieser Wert entspricht einer Standardabweichung bezogen auf die Geländekoordinaten von 5-6 cm bei einem Bildmassstab von 1:25.000 (Aufnahmen von 1969, 1974, 1980 und 1982) und von 15 cm für Aufnahmen von 1:40.000 (Aufnahmen von 1957). Tabelle 2 gibt eine Zusammenfassung der bei den verschiedenen photogrammetrischen Messungen erzielten Genauigkeit.

Neben den Beobachtungsfehlern wird die Genauigkeit von photogrammetrischen Messungen vor allem durch systematische Fehler des Bildmaterials sowie durch Fehler des Auswertegeräts begrenzt. Durch geeignete Rechenalgorithmen lassen

Techn. Daten der Luftbilder			Restfehler nach der Orientierung					
Aufnahme- jahr	Bildmass- stab	Flug- höhe [m]	Anzahl der Messpunkte	Mittlerer Einstellfehler bezogen auf das Mittel von 2. Messungen [μm]	Anzahl der Punkte	Ähnlichkeits- transformation [μm]	Affin- transformation [μm]	Fehler bezogen auf ein Jahr für Affin- transformation [cm/Jahr]
1957	1:40.000	4500	160	± 4	28	± 12	± 10	± 3.5
1969	1:27.000	4200	220	± 2	24	± 9	± 8	± 4
1974	1:23.000	3800	160	± 2	29	± 9	± 6	± 2.5
1980	1:24.000	4000	155	± 2.5				

Tabelle 2

Zusammenfassung der Werte für die Genauigkeitsanalyse der photogrammetrischen Messungen. Der mittlere Fehler für die Einstellgenauigkeit und die Restfehler nach der Orientierung erlauben die Genauigkeit des Verfahrens abzuschätzen. Um die systematischen Fehler des photographischen Aufnahmematerials möglichst weitgehend zu reduzieren wurde für die Orientierung neben Ähnlichkeitstransformationen auch Affintransformationen verwendet.

Recapitulation of values characterizing the precision of photogrammetric measurements. Pointing precision and the residual errors after orientation of photographs allow to evaluate the precision of the displacements. In order to reduce the effect of systematic errors of the photographic materials beside similarity transformations also affin-transformations have been used for the orientation.

Récapitulation des valeurs de précision de la restitution photogrammétrique. L'écart-type de pointage et les erreurs résiduelles après l'orientation permettent d'estimer la précision du procédé. Pour réduire l'influence des erreurs systématiques des mesures photogrammétriques, on a utilisé pour l'orientation des transformations de similitude et des transformations affines.

sich diese Fehler noch beträchtlich reduzieren. Um zwei Messserien von Aufnahmen aus verschiedenen Zeiträumen aufeinander zu beziehen wurden Ähnlichkeitstransformationen und Affintransformationen verwendet. Die Transformationsparameter wurden mittels Überbestimmung und entsprechender Ausgleichungen berechnet; im Durchschnitt lagen an die 20 Referenzpunkte für diese Berechnungen vor. Aus diesen Berechnungen ergibt sich ein Restfehler von im Mittel $\pm 10 \mu\text{m}$ für die Ähnlichkeitstransformation und $\pm 8 \mu\text{m}$ für die Affintransformation. In bezug auf das Gelände ergeben sich damit Restfehler von $\pm 20 \text{ cm}$ im Gelände für den Bildmassstab von 1:24.000 und von $\pm 40 \text{ cm}$ für den Bildmassstab von 1:40.000 für die Affintransformation. Da Rutschbewegungen im allgemeinen in Zentimetern pro Jahr ausgedrückt werden, ist es nützlich diese Systemfehler der photogrammetrischen Messungen auf diese Dimension zu beziehen. Berücksichtigt man, dass die Aufnahmen im allgemeinen 5-6 Jahre auseinander liegen, so muss bei ausgewiesenen Rutschungen bezogen auf ein Jahr mit Unsicherheiten zwischen ± 3 und $\pm 5 \text{ cm}$ gerechnet werden. Es versteht sich von selbst, dass diese Werte nur für gut identifizierbare Punkte gelten wie etwa Hausecken, Felsköpfe, Masten. Liegen für die Messungen nur Bäume oder Sträucher vor, so ist die Genauigkeit zwangsläufig entsprechend geringer. Zudem ist zu berücksichtigen, dass all diese Werte zur Charakterisierung der Genauigkeit Standardabweichungen darstellen, welche ein Vertrauensintervall von 66% aufweisen, insbesondere für die Analyse isolierter Punkte würde es sich empfehlen das Vertrauensintervall entsprechend zu vergrössern.

In Tabelle 2 werden wie bereits erwähnt die Rutschbewegungen für das Profil A - F für sämtliche gemessenen Perioden ausgewiesen. Graphisch wurden diese Bewegungen in Figur 4 aufgezeigt. Dabei erkennt man recht grosse Rutschbewegungen in der Zeit von 1957-1969; es folgt eine Periode der Beruhigung zwischen 1969 und 1974 und ab 1974 wieder eine Beschleunigung der Bewegungen, welche sich bis 1982 fortsetzte. Die photogrammetrischen Messungen für die ersten drei Perioden von 1957-80 wurden im Sommer 1980 abgeschlossen. Obgleich die photogrammetrischen Messungen ein recht umfassendes Bild der Rutschbewegungen ausweisen, waren zunächst die unterschiedlichen Geschwindigkeiten unverständlich. Erst durch den Beizug der Niederschlagshäufigkeit (vgl. Fig. 5) konnten diese Rutschbewegungen erklärt werden. So zeigt sich, dass vor allem zwischen 1965 und 1969 eine relativ hohe Niederschlagstätigkeit zu verzeichnen war, wogegen die Jahre 1969-74 eher als trocken bezeichnet werden könnten. Die Niederschlagshäufigkeit nahm dann von 1974-80 wieder ganz erheblich zu und erreichte einen Höhepunkt 1981 und 1982. Es ist bemerkenswert, dass auch bereits früher Perioden von relativ hoher Niederschlagshäufigkeit registriert wurden, vor allem in den Jahren 1910-20, aber auch von 1930-40. Die extreme Niederschlagshäufigkeit von 1910-20 scheint ganz beträchtliche Erdbewegungen verursacht haben, die katastrophale Folgen auf die Bauwerke und die Strassenverbindung hatte, denn im Jahre 1922 wurde eine erste Studie zur Sanierung der Kantonsstrasse in Auftrag gegeben (vgl. [2]).

Die Überlegungen zeigen, dass die Photogrammetrie wesentlich besser als viele anderen Messtechniken in der Lage ist mit Hilfe von älteren Luftbildern sehr detaillierte Studien über die Systematik der Rutschbewegungen in

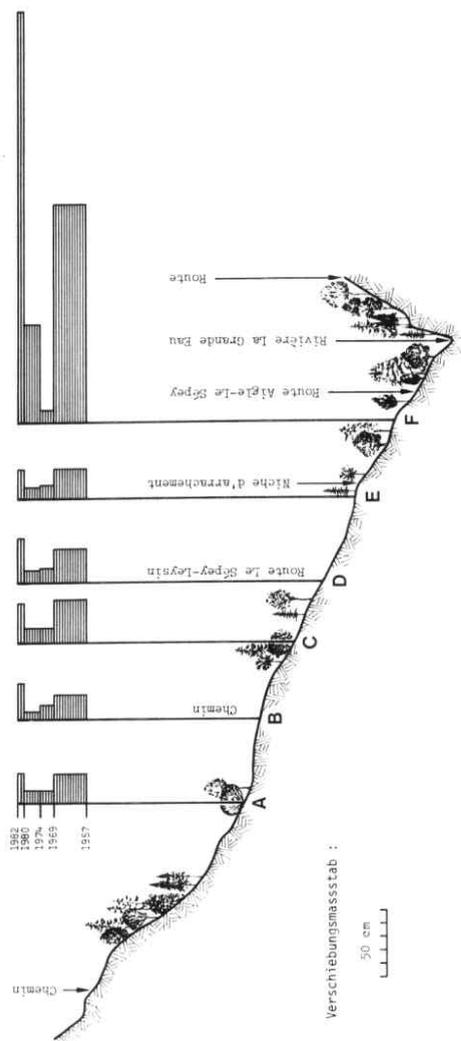


Fig. 4

Vergleich der Bewegungen des Geländes für die Beobachtungsperioden 1957-69, 1969-74, 1974-80, 1980-82 für ein Profil längs des Rutschgebietes La Frasse. Zur besseren graphischen Darstellung wurde eine mittlere jährliche Verschiebung für die 4 Beobachtungsperioden berechnet. Man beachte die grossen Unterschiede in den Geländebewegungen; diese Unterschiede sind im wesentlichen auf die unterschiedliche Niederschlagshäufigkeit zurückzuführen (vgl. Fig. 5). Die Berechnung einer mittleren jährlichen Verschiebung über eine längere Periode stellt damit eine sehr grobe Vereinfachung dar und in Wirklichkeit muss noch mit viel stärkeren zeitlichen Veränderungen gerechnet werden.

Comparison of ground displacements for the observation periods 1957-69, 1969-74, 1974-80, 1980-82 along a profile of the landslide La Frasse. For a better graphical representation an annual mean was computed for the 4 observation periods. One observes a great variation of the terrain movements, variations which are essentially due to great differences of precipitations (cf. Fig. 5). Consequently, the computation of an annual mean of the displacements represents an oversimplification and in reality much larger temporary variations have to be expected.

Comparison des mouvements de terrain pour les périodes 1957-69, 1969-74, 1974-80, 1980-82 le long d'un profil du glissement de La Frasse. Pour une meilleure représentation, une moyenne annuelle a été calculée pour les 4 périodes d'observation. On remarque les grandes variations des mouvements de terrain; ces variations sont essentiellement dues aux différentes quantités de précipitations (voir Fig. 5). Par conséquent, le calcul d'une moyenne annuelle des déplacements ne représente qu'une simplification grossière; en réalité, il faut s'attendre à des variations temporaires encore beaucoup plus importantes.

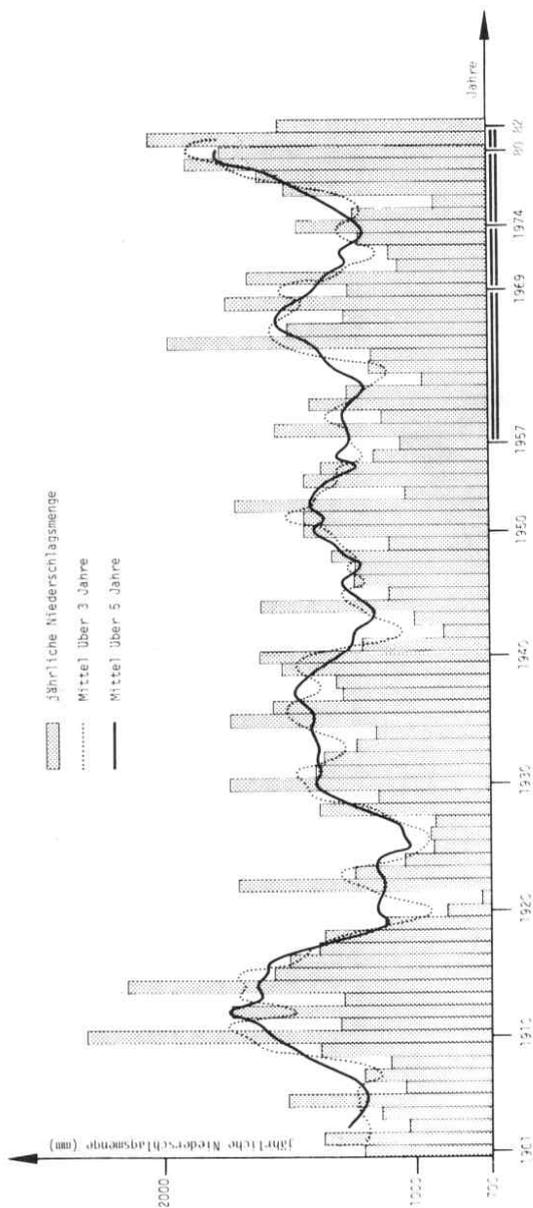


Fig. 5

Jährliche Niederschlagsmenge und gleitendes Mittel über 3 Jahre (punktierte Linie) und über 5 Jahre (durchgezogene Linie). Diese Werte wurden auf einer Station in Leysin und ab 1976 in Le Sépey registriert. Rechts im Diagramm wurden die Beobachtungsperioden für die photogrammetrischen Verschiebungsmessungen ausgewiesen.

Annual precipitation and mean of precipitation computed for 3 years (dashed line) and 5 years (continuous line). The values have been observed in Leysin and from 1976 in Le Sépey. Quite to the right of the diagram the observation periods covered by the photogrammetric displacement measurements are shown.

Précipitations annuelles et moyennes mobiles des précipitations annuelles sur 3 ans (ligne pointillée) et sur 5 ans (ligne continue). Ces valeurs ont été tirées d'enregistrements à Leysin et au Sépey. Dans le bord, tout à droite du dessin, on montre les périodes couvertes par les mesures de déplacement photogramétriques.

unstablem Gelände zu realisieren. Gerade diese unterschiedlichen Geländebewegungen zeigen auch wie wichtig es ist, grössere Zeiträume zu beobachten und diese Zeiträume in Verbindung zur Niederschlagshäufigkeit zu setzen; nur so lassen sich die Unregelmässigkeiten in den Bewegungen erfassen, Unregelmässigkeiten die ganz beträchtliche Ausmasse erreichen können.

4. Luftbildinterpretation

Liefert die Auswertung von multitemporären Aufnahmen ein recht vollständiges Bild über die Grösse von Rutschbewegungen, so lassen sich doch die Zusammenhänge nur schwer erfassen, wenn eine derartige numerische Auswertung nicht durch eine geologische und geomorphologische Kartierung ergänzt wird. Wie bereits in der Einführung erläutert, ist es zweckmässig, für geomorphologische Kartierungen Falschfarbenluftbilder heranzuziehen. Selbstverständlich ist es nicht möglich mit diesen Bildern allein eine geomorphologische Kartierung zu erstellen, sie stellen jedoch ein äusserst wertvolles Hilfsmittel dar, welches jedoch durch komplementäre Arbeiten im Gelände zu ergänzen ist. Die wichtigste Information, die diesen Luftbildern entnommen werden kann, betreffen zunächst die reine Geomorphologie, ferner das hydrologische Netz, Besonderheiten der Vegetation und schliesslich den Zustand von Wegen und Strassen.

Im folgenden wird versucht am Beispiel einer Studentenübung das Vorgehen bei einer Luftbildinterpretation näher zu erläutern. In den vergangenen beiden Jahren hat das Institut für Photogrammetrie die Feldübungen für Studenten der Abteilung Vermessungs- und Kulturtechnik (8. Semester) für die Luftbildinterpretation in einem Rutschgebiet verwendet. Dabei wurde zunächst den Studenten unter sachkundiger Leitung das Gelände und die Besonderheiten des Rutschgebietes erläutert, ferner wurden einige wenige besonders markante Rutschungen und Blattanrisse an Ort und Stelle gezeigt und mit dem Aussehen im Luftbild verglichen. Im zweiten Teil der Übung mussten dann die Studenten selbst anhand der Luftbilder charakteristische Zeichen von Instabilität im Gelände finden und diese in den Luftbildern identifizieren.

Am zweiten Tag wurde unter dem Stereoskop ein Interpretationsschlüssel erstellt, eine Arbeit welche durch die Abgabe eines Leitfadens sehr erleichtert wurde. Dabei wurde verlangt, dass der Student zunächst die grossen Zusammenhänge des Gebiets anhand von kleinmassstäbigen Luftbildern studiert und das hydrologische Einzugsgebiet des Rutschgebietes abgrenzt. Ferner wurden aus einer Karte im Massstab 1:25.000 die Schichtenlinien in die Luftbilder unter dem Stereoskop übertragen. Diese Arbeit erfolgte rein visuell, sollte aber dem Studenten das Erkennen der typischen geomorphologischen Formen unter dem Stereoskop erleichtern. Anschliessend wurde das hydrologische Netz interpretiert und zwar sämtliche Wasserläufe, die Quellen, künstliche Drainagen, Sumpfgelände und Vernässungen sowie kleine Teiche. In der Folge sollten alle charakteristischen Linien des Geländes wie Bruchkanten, Grate, Gefällsbrüche, Risse, Tallinien und Kuppen nachgezeichnet werden. Schliesslich sollte auf Besonderheiten der Vegetation Rücksicht genommen werden, dies betraf einerseits selbstverständlich die Kartierung von Vernässungen,

zum anderen sollten ganz besonders Ulmen erkannt werden sowie auf Bäume mit Säbelwuchs oder besonderen Neigungen geachtet werden. In einer letzten Phase sollten Zeichen von Unstabilität an Strassen und Wegen ausgemacht werden. Nach dieser Vorinterpretation wurden die Ergebnisse dieser Arbeit auf eine Karte übertragen und schliesslich beide Dokumente im Gelände während eines halben Tages verifiziert.

Auf diese Weise war es möglich Studenten der Sektion Kulturtechnik und Vermessungswesen mit den Problemen der Luftbildinterpretation vertraut zu machen. Das Vorgehen wurde hier kurz umrissen, da es die wesentlichen Züge einer Luftbildinterpretation aufzeigt und klarstellt, dass die Interpretation nur dann erfolgreich sein kann, wenn auch bereits gewisse Grundkenntnisse vorhanden sind und das Luftbild als Hilfsmittel für die Arbeit im Gelände betrachtet wird. Bedauerlicherweise war es nicht möglich in den Sammelband der Tagung ein Farbphoto aufzunehmen, welches das gewählte Vorgehen besser veranschaulicht hätte.

5. Schlussfolgerungen

Die Ausführungen zeigen, dass die Photogrammetrie ein ganz wesentliches Hilfsmittel für eine systematische Analyse und Studie von Rutschgebieten darstellt. Das Verfahren kann in der Schweiz problemlos für sämtliche Regionen des Bundesgebietes eingesetzt werden, da eine systematische Überdeckung des gesamten Gebietes mit Luftbildern bereits seit zumindestens zwei Jahrzehnten vorliegt. Im Prinzip liegen ähnliche Verhältnisse auch in allen anderen europäischen Ländern vor, da die topographischen Landeskarten generell heute mit Luftbildern erstellt und auch mehr oder weniger periodisch nachgeführt werden. Eine Einschränkung des photogrammetrischen Verfahrens ergibt sich nur durch die begrenzte Genauigkeit der Luftbilder; so können beim Bildmassstab von 1:25.000 Bewegungen bis zu ca. 20 cm innerhalb des Beobachtungsraumes, d.h. für die Schweiz Bewegungen von 2-3 cm pro Jahr noch nachgewiesen werden. Für kleinere Rutschbewegungen oder für das Studium von Geländebewegungen bei kürzeren Zeiträumen muss dagegen auf die klassischen Verfahren der Geodäsie zurückgegriffen werden. Es empfiehlt sich daher, diese Verfahren als komplementär zu betrachten und je nach Aufgabenstellung auf das eine oder andere Verfahren zurückzugreifen oder eine Kombination der beiden Verfahren als optimal zu betrachten.

Schrifttum

- [1] Engel Th. "Le glissement de La Frasse: Analyse des mouvements de surface déterminés par mesures géométriques" (Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 11/82, S. 354-358)
- [2] Lugeon M., Paschoud E., Rothpletz A. Rapport d'expertise, non publié (Département des travaux publics du Canton de Vaud, Service des routes, 1922)

Adresse des Auteurs : Prof. Dr O. Kölbl
Institut de photogrammétrie
Ecole polytechnique fédérale de Lausanne
Av. de Cour 33, CH - 1007 Lausanne