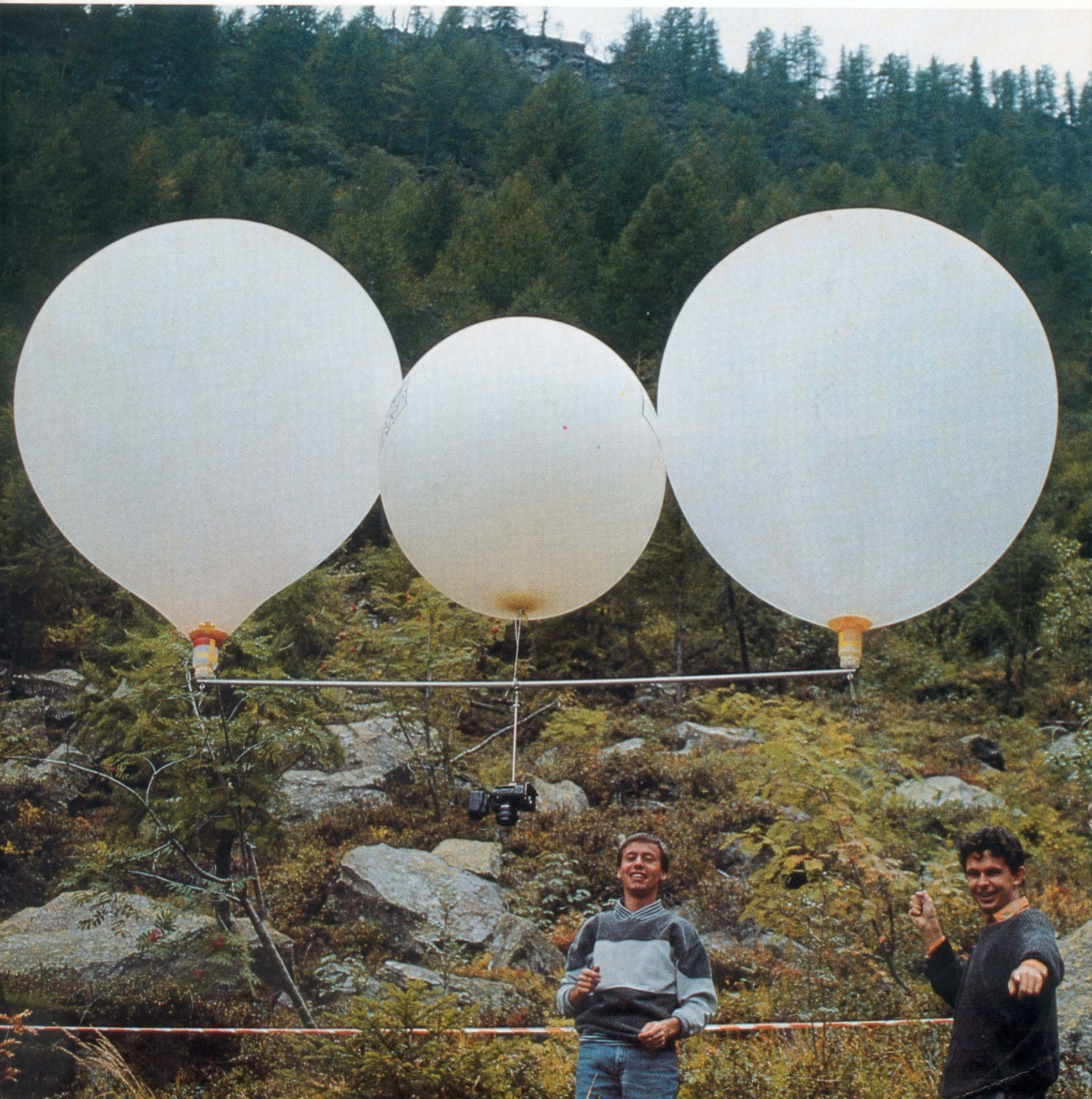
Vermessung Photogrammetrie Kulturtechnik

Mensuration Photogrammétrie Génie rural

April 1992
Avril 1992
90. Jahrgang
90e année

4|92



Photogrammetrie für Anwendungen in der Ingenieurgeologie

Th. Kersten, A. Botteri, S. Lutz

Es werden zwei photogrammetrische Aufnahmemethoden vorgestellt, die sich für den Einsatz in der Ingenieurgeologie eignen. Anhand eines Beispiels wird die photogrammetrische Aufnahme eines Rutschungshanges mit einer Nahbereichskamera aus einem Helikopter und einem Ballon beschrieben. Vor- und Nachteile der Aufnahmemethoden werden erörtert und wirtschaftliche Aspekte berücksichtigt. Die geologische Problemstellung und Situation des Testgebietes wird erläutert. Ergebnisse der photogrammetrischen Auswertung, die als Grundlage für die geomorphologischen und hydrologischen Analyse des Testgebietes dienen, werden kurz vorgestellt.

Deux méthodes de prises de vues photogrammétriques, convenant à une utilisation en géologie, vont être présentées. La saisie photogrammétrique d'un versant instable avec une caméra de terrain depuis un hélicoptre et depuis un ballon va être décrite, grâce à un exemple. Les avantages et les inconvénients de la méthode de prises de vues seront discutés et les aspects économiques pris en compte. Le problème géologique et la situation de la zone-test seront expliqués. Les résultats de l'exploitation des donnés photogrammétriques, bases de l'analyse hydrologique et géomorphologique de la zone-test, seront brièvement présentés.

1. Einleitung

Im August 1987 hat Hochwasser an einem Hang eines Seitentals des Val Bavona (TI) eine labile Situatioin mit der Gefahr von Murgängen geschaffen. Die Situation und der Zustand des Hanges wurden in einer Diplomarbeit am Geologischen Institut der ETH Zürich analysiert. Zur geomorphologischen und hydrologischen Analyse dieses Rutschhanges wurden eine geologische Detailkartierung im Massstab 1:500 und zwei Profildarstellungen des Hanges erstellt. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich wurde der Hang photogrammetrisch aufgenommen und ausgewertet. Als Schwerpunkt des Artikels werden die photogrammetrischen Aufnahmemethoden vorgestellt. Auf die Vor- und Nachteile der Aufnahmemethoden wird hingewiesen.

2. Geologische Situation des Testgebietes

Das zu untersuchende Gebiet befindet sich in der Corte Nuovo (683600/137150) (Abb. 1) auf 1500 m Höhe und ist schwer zugänglich. Am Fuss des Hanges fliesst der Wildbach «Ri di Groazzöö, der bei grossen Niederschlägen Lockergestein erodiert. Hochwasser in der Folge von überdurchschnittlichen Niederschlagsmengen an jeweils zwei aufeinanderfolgenden Tagen (109 mm am 24.8.87, 283 mm am 25.8.87, 129 mm am 12.10.88 und 121 mm am 13.10.88). haben den Hang destabilisiert. Das rutschende Moränenmaterial des Hanges wird auf ca. 80 000 m³ geschätzt und ist mit wenig Ton angereichert. Es weist mittlere, im Detail wechselhafte Wasserdurchlässigkeit auf. Der Abrissrand des Rutschhangs ist ungefähr 210 m lang. Die Stabilität des Hangs ist beim geschätzten Winkel der inneren Reibung des Moränenmaterials von 31°–35° zwar im Prinzip gewährleistet, wird jedoch durch Wasserinfiltration (Quellen und Niederschläge) verringert. Murgangerosionen können für junges glaziales Moränenmaterial bei steileren Hangneigungen als 51% ausgelöst werden [Zimmermann, 1990]. Ungünstig ist die Morphologie des Tales, das sehr steile Flanken aufweist (U-Tal). Das Dorf Fontanelada im Talboden (683900/137900), an der Einmündung des Ri di Croazzöö in das Val Bavona auf 755 m Höhe gelegen (Abb. 2), ist bei Murgang infolge eines Hochwassers stark gefährdet. Es liegt auf alten Murgangablagerungen, was neben der Morphologie auch dadurch bewiesen wird, dass die Bodenproben jenen von Corte Nuovo sehr ähnlich sind.

3. Photogrammetrisches Aufnahmekonzept

Der Hang ist mit Buschwerk bewachsen und schwer zu erreichen, so dass auf terrestrische Aufnahmen verzichtet und Luftaufnahmen in Betracht gezogen wurden. Wegen der Enge des Tales kamen Befliegungen mit Luftbildkammern nicht in Frage. Ausserdem ist das Aufnahmegebiet für einen konventionellen Bildflug zu klein (Fläche 120 × 100 m²). Es wurde nach einer preiswerten und flexibleren Methode gesucht. Als Lösungen boten sich Aufnahmen mit einer Nahbereichskamera aus einem Helikopter oder Fesselballon an. Beide Möglichkeiten werden im folgenden beschrieben. Die Arbeitsschritte der photogrammetrischen Aufnahme und Auswertung werden in die Flugplanung, Anlage und Bestimmung eines Passpunktnetzes, Aufnahme des Gebietes und Auswertung an einem analytischen Plotter unterteilt.

3.1 Flugplanung

Ausgangsgrössen für die Flugplanung sind die Grösse des Aufnahmegebietes, die geforderte Punktgenauigkeit und die

Abb. 1: Rutschungshang bei Corte Nuovo.

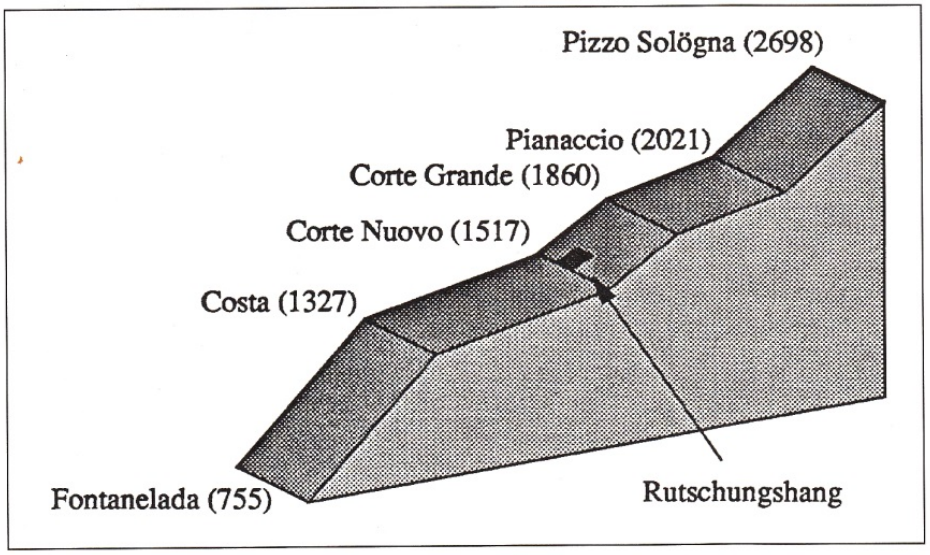


Abb. 2: Höhenprofil der Alpe di Solögna (Skizze).

charakteristischen Daten der zu verwendenden Kamera (Kammerkonstante, Bildformat). Die Grösse des Aufnahmegebietes beträgt 120 × 100 m². Die geforderte Punktgenauigkeit für die Kartierung des Hanges liegt unter 0,1 m in Lage und Höhe. Für die photogrammetrischen Aufnahmen wird die Kamera Leica R5 mit Réseau (Kammerkonstante c = 24 mm, Bildformat 24 mm × 36 mm) eingesetzt. Durch die Traglast und die Länge des Halterungsseiles am Ballon sind Einschränkungen für die Flughöhe gegeben. So kann der Ballon mit Kameraausrüstung nur maximal 100 m über Grund schweben. Primäre Einflussfaktoren für die Punktgenauigkeit aus photogrammetrischen Aufnahmen sind der Bildmassstab, die Anzahl der Aufnahmen, das Basis-Höhen-Verhältnis, die Überdeckung der Bilder, die Anzahl der Passpunkte und deren Verteilung. Der Bildmassstab wird durch die Flughöhe und die Kammerkonstante bestimmt. Für die stereoskopische Auswertung eignet sich ein Basis-Höhen-Verhältnis von 1:4 bis 1:10. Je kleiner das Basis-Höhen-Verhältnis gewählt wird, desto ungenauer kann die Z-Koordinate bestimmt werden. Für die photogrammetrischen Aufnahmen vom Helikopter und vom Ballon aus wird eine Flugplanung für ein Einzelmodell und eine Aerotriangulation vorgestellt.

Bei einer vorgewählten Längsüberdekkung beider Bilder im Stereomodell von 80% ergibt sich beim Vergleich von Bild- und Geländeseite ein Bildmassstab von $m_b \approx 1:4200$. Durch die grosse Überdekkung beider Bilder kann die Flughöhe niedriger als bei 60% Überlappung gewählt werden. Die Flughöhe berechnet sich nach $h_g = m_b\, c$ für $h_g = 100$ m. Der Abstand der beiden Aufnahmepositionen beträgt 28 m. Die Signalgrösse der Passpunkte sollte im Durchmesser nicht kleiner als 20 cm sein, damit sie im Bild als 50 µm grosse Punkte abgebildet werden. Das Basis-Höhen-Verhältnis ist 1:3.6. Eine erreichbare Messgenauigkeit für Bildkoordinaten am Auswertegerät (Analytischer Plotter) von ±3 µm lässt eine Genauigkeit der signalisierten Punkte von ±2,1 cm in der Lage und von ±7 cm in der Höhe erwarten. Um diese Genauigkeit zu erhöhen, könnten mehrere Aufnahmen von verschiedenen Aufnahmepositionen gemacht werden. Das erhöht die Anzahl der Strahlen zu den Objektpunkten.

Eine Alternative zu vielen Einzelmodellen bietet die Aerotriangulation. Bei einer Längs- und Querüberdeckung der Bilder von 60% wird das Rutschungsgebiet durch einen kleinen Block von 2 × 3 Bildern abgebildet. Eine Aufnahmehöhe von 60 m hat unter sonst gleichen Bedingungen einen Bildmassstab von 1:2500 zur Folge. In Streifenrichtung beträgt der Abstand der Aufnahmepositionen 36 m und quer zum Streifen 24 m. Die Grösse der signalisierten Punkte kann beibehalten werden. A priori lässt sich die zu erwartende Genauigkeit bei diesen Bedingungen mit ±1,3 cm in der Lage und ±2,2 cm in der Höhe abschätzen.

3.2 Passpunktnetz

In dem Hang wurde ein Netz von acht signalisierten Passpunkten installiert. Stahlstifte, die bei der Vermessung des Netzes als Träger der Reflektoren dienten, wurden in grösseren Felsblöcken einbetoniert. Die Punkte wurden wegen der schweren Zugänglichkeit des Testgebietes nur von einem Festpunkt aus durch Messung von Distanz und Richtung bestimmt. Die Genauigkeit des Passpunktnetzes ist mit ±1,0 cm in der Lage und ±1,2 cm in der Höhe gegeben. Die Passpunkte wurden mit schwarz-weissen Signaltafeln signalisiert. Um bei späteren Aufnahmekampagnen die Flughöhe der Aufnahmeplattform variieren zu können, wurde der Durchmesser der Signale grösser gewählt als bei der Flugplanung vorgeschlagen. Zusätzlich zu den Passpunkten wurden noch mehrere Punkte an dem Hang gut verteilt signalisiert, um sie gegebenenfalls später als Rutschungspunkte zu überwachen. Leider konnten nur wenige Signale zentrisch auf die Stahlstifte gesetzt werden, so dass durch die Vermessung der exzentrischen Punktlage ein Genauigkeitsverlust von bis zu fünf Zentimeter zu erwarten ist.

3.3 Aufnahme des Hanges der Corte Nuovo

Das Rutschungsgebiet wurde mit der Kamera Leica R5 von einem Helikopter und einem Ballon aus aufgenommen. Die Kamera war mit einem kalibrierten Weitwinkelobjektiv (24 mm) und einer Réseauplatte ausgerüstet. Die Zeitautomatik der Kamera stellt bei vorgewählter Blende die Belichtungszeit ein. Der Film wird automatisch mit Hilfe eines Motordrive weitertransportiert. Für die Aufnahmen wurden Diapositivfilme (Lichtempfindlichkeit 200 ASA) verwendet.

3.3.1 Aufnahmen aus dem Helikopter

Zur Orientierung bei den Aufnahmen aus dem Helikopter wurden die Abgrenzungen des aufzunehmenden Geländes und eine Basislinie von 28 m am Boden markiert. Für die Aufnahmen lehnte der Fotograf angegurtet aus dem Helikopter. Dank der guten Manövriereigenschaft des Helikopters war es möglich, die Aufnahmeorte in der erforderlichen Flughöhe über den Basispunkten zu positionieren. Die markierten Basislinienendpunkte wurden jeweils als Bildmittelpunkt ins Visier genommen und die Begrenzungsmarkierung diente als Kontrolle, dass der zu erfassende Geländeausschnitt im Bild abgebildet wird. Der Fotograf konnte durch Anweisungen über Sprechfunk an den Piloten die Aufnahmehöhe korrigieren. Das Aufnahmegebiet war in kurzer Zeit erreicht und die Aufnahme dauerte nur wenige Minuten.

3.3.2 Aufnahmen vom Ballon aus

Die Aufnahmen vom Ballon aus gestalteten sich wesentlich aufwendiger. Neben den vorbereitenden Arbeiten, wie Berechnung des Auftriebes und der Konstruktion der Kameraaufhängung, musste das gesamte Material in das Testgebiet transportiert werden. Die Kameraaufhängung (Abb. 3) wird von drei Ballonen, die aus jeweils einer Heliumflasche (30 Liter) gefüllt werden, getragen. Eine lange Basisstange ist das Verbindungsstück zwischen Aufhängung der Kamera und den Ballons. Die Fesselballonkonstruktion ist in Abbildung 4 dargestellt. Zur Steuerung des Ballons dienten zwei Seile, die an der zwei Meter langen Basisstange des Ballons befestigt wurden. Eine Lotschnur am Ballon sollte sicherstellen, dass die Kamera sich

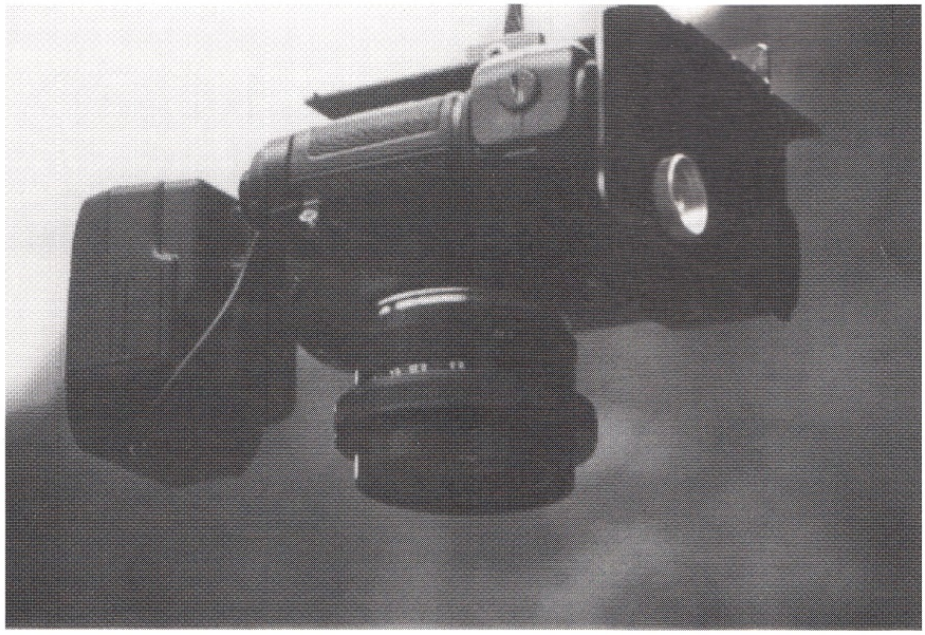


Abb. 3: Kameraaufhängung für Leica R5.

über dem Aufnahmezentrum befindet. Die Aufnahmen konnten durch eine Fernbedienung ausgelöst werden. Bedingt durch einen leichten Talwind konnte der Ballon nicht hoch genug schweben und zusätzlich erschwerte das bewachsene Gelände eine Steuerung des Ballons. Der Ballon konnte nicht über die markierten Aufnahmezentren manöviert werden, so dass die Aufnahmen aus falscher Höhe und vom falschen Ort gemacht wurden. Die Aufnahmemethode konnte zwar getestet werden, aber die Aufnahmen waren für die Auswertung nicht zu gebrauchen.

3.4 Auswertung

Die Auswertungen der Luftbildaufnahmen erfolgte an dem analytischen Auswertegerät Leica SD 2000. Für die Auswertung wurde ein Luftbildpaar der Helikopteraufnahmen verwendet. Der Bildmassstab war mit m_b = 1:4800 etwas kleiner als in der Flugplanung vorgegeben, doch die Flughöhe konnte mit 95 m bzw. 91 m für beide ausgewerteten Bilder eingehalten werden. Die Verschwenkungen der Kamera während der Aufnahmen waren mit φ = 13 gon und ω = −5 gon bei beiden Bildern gleich. Das Stereopaar konnte bei guter stereoskopischer Betrachtung ausgewertet werden. Von dem Testgebiet wurde eine Detailkartierung im Massstab 1:500 mit allen relevanten geologischen Strukturen erstellt. Ausserdem wurden zwei Profile senkrecht zum Hang gemessen. Die Ergebnisse dienten der geologischen Interpretation des Rutschungshanges. Eine Bündelausgleichung aller gemessenen Punkte im Modell ergab eine theoretische Genauigkeit für die Nennpunkte von ±6,8 cm in der Lage und von ±13,9 cm in der Höhe. In der Ausgleichung wurden 20 Neupunkte und vier Passpunkte verwendet. Die errechnete Genauigkeit ist schlechter als a priori abgeschätzt. Dieses lässt sich aus der ungünstigen Verteilung der vier Passpunkte und aus dem relativ ungenauen Passpunktnetz erklären.

4. Vergleich der beiden Aufnahmemethoden

Bei der photogrammetrischen Aufnahme des Hanges hat sich gezeigt, das die Aufnahmemethode mit dem Helikopter gegenüber der Ballonaufnahme zuverlässiger, schneller und flexibler ist. Für das schwer zugängliche Gebiet war der Aufwand für die Aufnahmen mit dem Helikopter wesentlich geringer als mit dem Ballon. Einschränkungen beim Einsatz des Ballons sind durch ungünstige Wetterverhältnisse und aufgrund der Traglast durch eine geringere Flughöhe als beim Helikopter gegeben. Die Mietkosten für den einmaligen Helikoptereinsatz betrugen inklusive Kamera Fr. 700.—, während der Ballon mit Ausrüstung inklusive Kameramiete ungefähr Fr. 1760.— kostete. Ab dem zweiten Einsatz des Ballons reduzieren sich die Kosten auf Fr. 560.—, da einige Anschaffungskosten entfallen. Die detaillierten Kosten für den Einsatz des Ballons sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Doch für die Aufnahmen vom Helikopter wird nur eine Person als Fotograf eingesetzt, während beim Ballon zusätzlich zwei Personen zum Führen der Steuerungsseile benötigt werden. Abgesehen von der kleinen Aufnahmefläche des Hanges, für deren Aufnahme sich ein Bildflug nicht eignen würde, hätte der Einsatz eines Vermes-

Kostenart	Kosten (Fr.) 1. Einsatz	Kosten (Fr.) Wiederholter Einsatz
Ballon	300.—	—
Gasflaschen	270.—	270.—
Material-transport	150.—	150.—
Kameramiete + Zubehör	140.—	140.—
Fern-bedienung	600.—	—
Kamera-aufhängung	300.—	—
insgesamt	1760.—	560.—

Tab. 1: Materialkostenzusammenstellung für den Einsatz des Ballons.

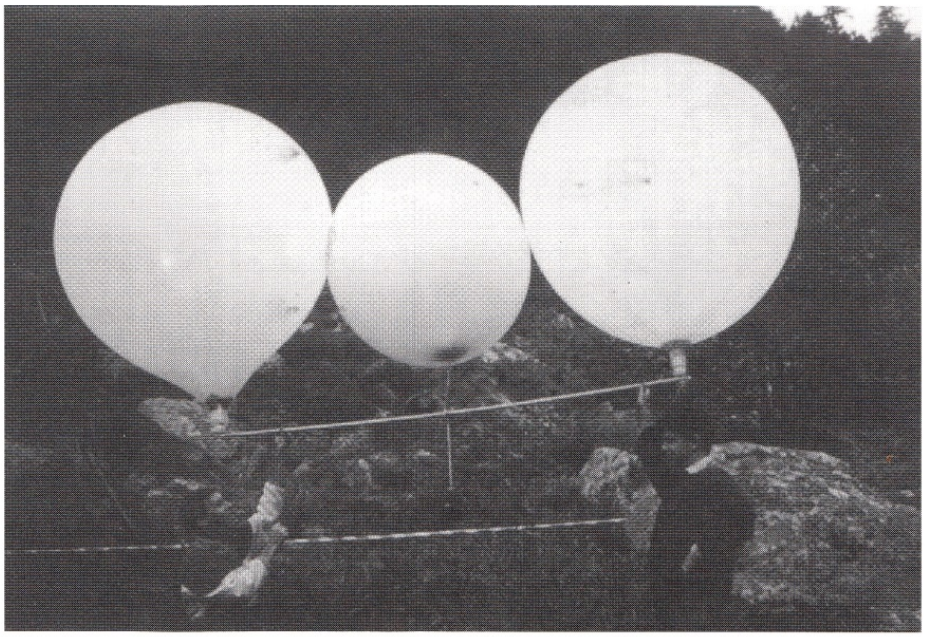


Abb. 4: Ballonkonstruktion mit Kameraaufhängung.

sungsflugzeuges für ein ähnliches Projekt, jedoch mit grösserem Aufnahmegebiet, über Fr. 5000.— gekostet. Es werden hierbei Fr. 80.— pro Flugminute (Maggiatal retour ca. 1 Stunde Flugzeit), eine Start- und Landepauschale sowie eine Pauschale für jeden geflogenen Streifen berechnet.

5. Schlussfolgerung

Mit dem Einsatz von Nahbereichskameras in einem Helikopter und Ballon wurden zwei Alternativen zur terrestrischen Bildaufnahme und zur konventionellen Luftbildaufnahme für Anwendungen in der Ingenieurgeologie vorgestellt. Für die photogrammetrische Aufnahme von kleinen Flächen ist der Einsatz von Helikoptern aufgrund der Flexibilität und der Zuverlässigkeit dem Ballon vorzuziehen. Die Aufgabenstellung konnte mit den Helikopteraufnahmen erfüllt werden. Testaufnahmen mit dem Ballon lieferten bei günstigeren Wetterbedingungen auch gute Bilder. Die Auswertung der Kleinformataufnahmen an einem Analytischen Plotter stellt kein Problem dar. Die Genauigkeit kann bei sorgfältiger Planung und Installation eines Passpunktnetzes gesteigert werden.

6. Danksagung

Wir danken der Gemeinde Cavergno (TI) für die Unterstützung, Herrn M. Lindemann von der Winterthur Versicherung in Winterthur als Sponsor des Ballons, dem Ufficio Topografia e Misurazioni in Giubiasco für die Vermessung des Passpunktnetzes und der Firma Leica AG in Glattbrugg, dass sie die Kamera und das Auswertegerät SD 2000 zur Verfügung gestellt hat.

Literatur:

Botteri Balli, A., 1991. Analisi geologica dell'Alpe di Sologna ed applicazioni della fotogrammetria nella geologia applicata. Unveröffentlichte Diplomarbeit am Geologischen Institut der ETH Zürich.

Kraus, K., 1986. Photogrammetrie, Band 1, Grundlagen und Standardverfahren, Dümmler Verlag, Bonn.

Zimmermann, M., 1990. Periglaziale Murgänge. Mitteilungen der VAW der ETH Zürich. Internationale Fachtagung über Schnee, Eis und Wasser der Alpen in einer wärmeren Atmosphäre, Zürich, 11.5.1990, pp. 89–107.

Adresse der Verfasser:

Thomas Kersten
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
ETH Hönggerberg
CH-8093 Zürich

Alessandro Botteri Balli
Geologisches Institut
ETH-Hönggerberg
CH-8093 Zürich

Stefan Lutz
Leica AG
Kanalstrasse 21
CH-8152 Glattbrugg

a/m/t software service ag **Obergasse 2a** **8400 Winterthur** **Tel. 052 213 23 13**

GEOS

GEOS 4

Die Lösung für die RAV
- Netz- und Punktberechnung mit Qualität und Zuverlässigkeit
- Mutationsverwaltung
- interaktive Graphik
- thematische Ebenen

La solution pour la REMO
- réseaux polygonométriques et points de détail avec qualité et fiabilité
- gestion des mutations
- graphique interactive
- niveaux thématiques

Besuchen Sie uns an der Exposition A.S.T.G. 1992 am 8./9. Mai 1992 im Hotel Holiday Inn in Genf