

Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 78 (1980)

Heft: 10

Artikel: Der Bergrutsch von Flühli : Vom Bergsturz zum Murgang

Autor: Zollinger, F.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-230182>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 30.01.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Der Bergrutsch von Flühli: Vom Bergsturz zum Murgang

F. Zollinger

Der Artikel schildert zuerst den zeitlichen Ablauf des Berg- rutsches an der Beichlen bei Flühli (Kanton Luzern) vom 22.–30.Juni 1980. Es folgt eine Erläuterung der drei Haupt- ursachen für das Naturereignis (schräg gestellte, subalpine Molasseschichten, die langdauernde, vorausgegangene Regenperiode und ein Nackentälchen im Hang). Abschlies- send wird eine Zusammenfassung der getroffenen Katastro- phenmassnahmen gegeben nebst einigen Gedanken zur möglichen Weiterentwicklung des Rutsches sowie den technischen Gegenmassnahmen.

Premièrement l'article retrace le déroulement du glissement de montagne de Beichlen près de Flühli (canton de Lucerne) du 22 au 30 juin 1980. Suit une explication des trois causes principales de cet événement (les strates de molasse subalpine inclinées, la longue période de pluie précédant le glissement, une cuvette oblongue dans la pente [«Nackentälchen»]). Finalement est donné un résumé des mesures de catastrophe prises et quelques réflexions pour le futur (évolution possible du glissement, ainsi que les contre-mesures techniques).

1. Einleitung

Im ganzen Schweizer Blätterwald rauschte es, als Ende Juni 1980 bei Flühli im luzernischen Entlebuch Hunderttausende von Kubikmetern Fels und Geröll zu Tal fuhren. Die Sensations- spalten berichteten davon, und viele im Rutschgebiet eintreffende Schaulustige behinderten die Räumungsarbeiten. Wenige aber sahen hinter die Kulissen des Geschehens, das aus geologischer und kulturtechnischer Sicht viele inter- essante Aspekte bot und bietet. Die folgenden Ausführungen (beruhend auf einer ausgiebigen Begehung, auf Ge- sprächen mit Betroffenen und auf Dut- zenden von Zeitungsnachrichten) sollen den Bergrutsch und seine Hintergründe kurz darstellen, so weit heute Fakten und Ergebnisse der noch laufenden Abklärungen vorliegen.

2. Der Ablauf der Ereignisse

In der Nacht vom Samstag auf den Sonntag, 21./22.Juni, hören die Älpler

von Unterschwarzenberg ein Krachen und Dröhnen am Hang über ihrem Haus, das wie Flobertschüsse klingt (für die Geografie sei auf die Abb.1 verwie- sen). Am Sonntag um 15.30 bläht sich dieser Südhang an einer Stelle zu einer «Blase» auf (siehe Abb.6), und beinahe gleichzeitig erblickt auch der Älpler vom nordöstlich gelegenen Spittel am ande- ren Abhang der 1770 m hohen Beichlen grössere Abbrüche. Beim Herunterpol- tern der ersten Felsmassen um 18.00 nach Nordosten in den Spittelgraben ist der Gemeindepräsident bereits orien- tiert, und Unterschwarzenberg und Spit- tel werden evakuiert. In der Nacht scheint sich der begonnene Bergrutsch zu beruhigen, bis er in den frühen Mor- genstunden aber wieder in Bewegung gerät. Von da an lösen sich unterhalb 1630 m ü.M. bis einfamilienhausgrosse Felsblöcke und bewegen sich schneller oder langsamer unter unheimlichem Krachen und Reiben talwärts. Die Geröll- massen stürzen zuerst in den schmalen Spittelgraben, den sie füllen und stark

ausweiten. Die Ufer werden angerissen und stürzen samt dem angrenzenden Wald in den zementfarbenen Fels- und Murstrom. Auf der Weide oberhalb Fal- kenbach verringert sich das Gefälle stark, so dass sich die Geröllmassen bis über 50 m ausbreiten können, bevor sie die steile Waldschlucht hinunter flie- sen und kollern. Der Strom weist Ge- schwindigkeiten bis 10 m pro Minute auf. Nach anderthalb Kilometern Fliess- weg (500 m Höhendifferenz) vereinigt sich der Strom des Spittelgrabens mit dem etwas grösseren, aus Südsüdwest kommenden Hellschwandbach. Das Gefälle wird wieder kleiner, wobei der Bach aber relativ tief eingeschnitten ist, so dass zwar Ufer und Bäume in den Strom stürzen, auf den nächsten 1200m aber weder Weiden noch Gebäude ge- fährdet sind.

Kritisch wird die Lage erst wieder 400m bevor der Hellschwandbach in die Waldemme mündet: Die leichte Rechtskurve des Baches bis an den Waldrand und zur Strasse ist für einen Ausbruch nach Norden gegen die Häu- ser und Weiden von Rorigmoos präde- stiniert. Dank grossem Einsatz von Menschen und Maschinen konnte diese Gefahr gebannt werden. 300m weiter unten kann sich der Murstrom stark ausweiten und fliesst ab dem 23.Juni 13.30 auf einer Breite von mehr als 100 m das Flussufer zerstörend in die Waldemme. Wenige Meter unterhalb wird der Talfluss von der Rorigmoos- brücke gequert. Dem Strom aus Fels- blöcken (sie sind auch hier unten noch bis 2x3 m gross und wiegen bis 20 Ton- nen), Geröll, Feinmaterial, Schlamm, Holz und Wasser geht ein dickflüssiger Brei aus Feinmaterial und Wasser voran, der relativ problemlos in die Waldemme fliesst und von ihr abtran- sportiert wird. Mit den Felsblöcken und Baumstämmen entstehen jedoch Schwierigkeiten, denn sie verklauen sich oberhalb der Brücke über der Waldemme. Mit Trax und Bagger ge- lingt es zuerst, den Fluss einigermaßen

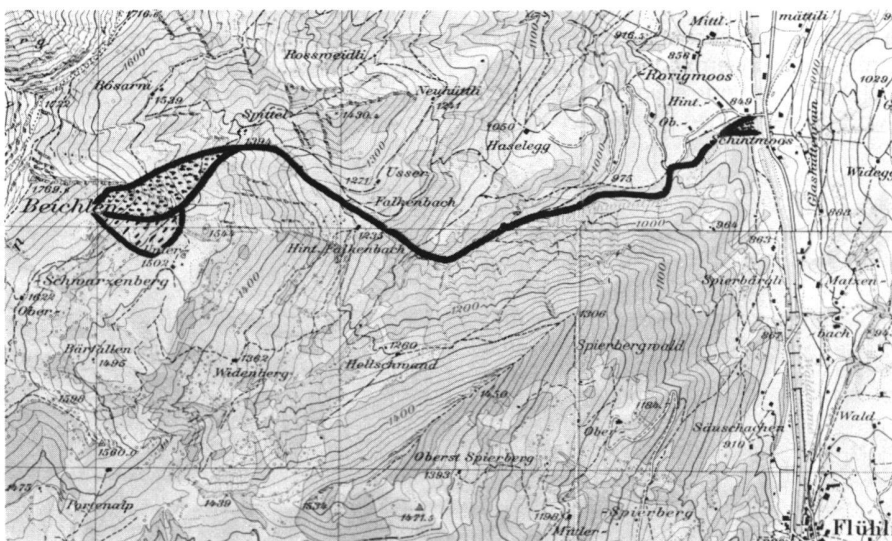


Abb.1 Übersicht des Einzugsgebietes des Hellschwandbaches (ca. 1:30000, reproduziert mit Bewilligung der eidg. Landestopografie vom 11.9.80). Im Norden der abgebildete Teil des Bergrutsches, im Süden der zu Stillstand gekommene.



Abb. 2 Blick von ca. 1480 m gegen das Anrissgebiet hinauf. Der eigentliche Anriss ist nur zum Teil ganz oben hinter den in der Bildmitte nach rechts gekippten Tannen zu sehen. Links im Bild der Beginn des zum Stillstand gekommenen Rutschteiles Richtung Unterschwarzenberg. Rechts oben der abgerutschte Teil der Krete, welche ihre Fortsetzung früher zum linken Bildrand hin hatte.

frei zu halten. Am 24. Juni wird die Situation dann aber sehr kritisch, weil Blöcke und Baumstämme den Fluss an der Brücke immer wieder völlig stauen. Damit wird das Rorigmoos bedroht, und auch die Kantonsstrasse Schüpfheim-Flühli (Sörenberg) steht zeitweise unter Wasser und Schlamm. Man plant nun einen Entlastungskanal, der die Schuttmassen direkt unterhalb der Rorigmoosbrücke in die Waldemme führen soll. Der 150m lange, bis 17m breite und 3m tiefe Kanal kann aber erst mit dem Einverständnis der Transitgas AG ausgehoben werden, denn die Erdgasleitung Genua-Ingoldstadt führt an dieser Stelle durch. Nachdem der Druck in der Pipeline (83cm Durchmesser) von 70 auf 50 bar reduziert worden ist, gibt der eidgenössische Rohrleitungsinspektor die Bewilligung zum Bau des Kanals.

Der Entlastungskanal löst die Verklauungsprobleme in der Waldemme recht befriedigend, doch er unterbricht die Fortsetzungsstrasse der Brücke im Westen, d.h. die Verbindung ans linke Flussufer. In der Folge müssen 20 Gehöfte mit 80–100 Personen und 250 Tieren mit Helikopter und über einen schmalen Notsteg versorgt werden. Die



Abb. 3 Im Vordergrund die Kantonsstrasse, dahinter fliesst von links nach rechts die Waldemme (nur linkes Ufer sichtbar), weiter hinten der Schuttkegel von Hellschwandbach und Berggrutschmaterial und Häuser von Rorigmoos. Rechts im Bild die Rorigmoosbrücke. Zwischen ihr und dem weissen Haus führt der Entlastungskanal von links nach rechts (nicht sichtbar, im Gegensatz zum darüber führenden Notsteg in der Bildmitte).

Milch muss von Hand über diesen Steg in die nahe Käserei Schintmoos getragen werden. Verzögert durch das schlechte Wetter kann eine Notbrücke über die Waldemme (500 m flussabwärts) erst am Abend des 28. Juni fertig gestellt werden. Sie mildert die Lage der meisten Gehöfte, doch Falkenbach, Schwarzenberg, Widenberg und Hellschwand bleiben weiterhin ohne Verbindung.

Am 24. Juni fliesst der Fels-Schuttstrom praktisch ununterbrochen ins Tal. Er bringt zeitweise bis über 3500 m³ Material pro Stunde in die Waldemme. Am folgenden Tag beruhigt sich die Lage, womit sich eine «Gnadenfrist» ergibt, um die Waldemme gründlich zu räumen. In der Nacht auf den 26. Juni erreichen wieder einige Geschiebestöße das Tal. Dabei handelt es sich vor allem um Material, das sich vorübergehend im Bachlauf gestaut hatte, und nun vom anhaltenden Regen gelöst wurde. Bis am 27. Juni verändert sich die Lage trotz ausgiebigen Regenfällen nicht (im Anrissgebiet fällt sogar Schnee). Immer noch bewegt sich der Strom abgeschwächt talwärts. Die Waldemme führt ein kleineres Hochwasser.

Über das Wochenende (28./29. Juni) spült der unverminderte Regen viel Schlamm ab und reinigt das Bachbett. Am Sonntag gehen vor Mitternacht erneut zwei Schübe nieder, welche provisorische Ufersicherungen wegweisen und Räumungen bis in die Morgenstunden erfordern. Einer der Schübe bewegt Material in 8 Minuten über etwa 2 km. Doch es sollten die letzten grossen Bewegungen gewesen sein, denn in der folgenden Woche beruhigt sich Anrissgebiet und Murstrom zusehends trotz weiter anhaltendem Regen.

3. Hintergründe und Ursachen

3.1 Zur Geologie des Gebietes

Während der Aufwölbung der Alpen im Tertiär wurden als Folge der Erosion am jungen Gebirge grosse Schuttmassen abtransportiert und an seinem Fuss abgelagert. Sie verfestigten sich später

zur Nagelfluh. Die voralpine Molasse am Südostrand unseres Mittellandes besteht zu einem bedeutenden Teil aus diesen Nagelfluhschichten. Zwischen ihnen befinden sich immer wieder Lagen feineren Materials, nämlich Mergel und Sandstein. – Gegen das Ende der Alpenfaltung wurde die voralpine Molasse ebenfalls in den Hebungsprozess einbezogen und damit schräg gestellt, indem sie durch den Druck der Alpen von Südosten her nach Nordwesten über die Mittellandmolasse hinweggeschoben wurde. Die Beichlen ist ein Nagelfluhberg aus dieser Überschiebungslinie. Sie gehört damit geologisch zur Molasse; d.h. zum südöstlichen, höheren Mittelland, geomorphologisch aber bereits zu den Alpen. Die Schichten neigen sich nach Südosten gegen die Alpen (an der Beichlen etwa 30 Grad), gegen das Mittelland stehen die Schichtköpfe treppenförmig an und zeigen oft steilste Felswände.

Das durch Humus und Boden sickernde Wasser geht im Untergrund dem kleinsten Widerstand nach. Es fliesst deshalb oft entlang den schräg gestellten Gesteinsschichten, insbesondere dann, wenn die untenliegende Schicht undurchlässiger als die obere ist. In besonderen Fällen wie beim Bergrutsch von Flühli kann dadurch eine Gleitschicht entstehen. Als Folge davon ist



Abb. 4 Die Gleitfläche im obersten Anrissgebiet weist eine Neigung von 30 Grad auf und ist von nachrutschendem Feinmaterial, Boden und Rasenziegeln bedeckt, so dass man nicht erkennt, dass es sich um Nagelfluh handelt.

es möglich, dass die hangende (aufliegende) Molasseschicht auf dieser Schmierfläche abrutscht. So geschah es beim Bergsturz – richtiger wäre «Berggrutsch» – von Goldau am Rossberg 1806, und so ist es wieder in harmloserer Art bei Flühli an der Beichlen geschehen.

3.2 Zur vorausgegangenen Wetterlage

Die allgemein schlechte Wetterlage im vergangenen Frühling und Vorsommer ist bekannt. Das Wetter im Juni wurde bei uns bestimmt von einem hartnäckig über den Britischen Inseln verharrenden Tief. Ob die Gründe dafür in der starken Sonnenfleckenaktivität oder anderswo liegen, darüber rätseln die Meteorologen noch jetzt. Tatsache ist, dass der vergangene Juni einen Jahrhundertrekord an Regentagen aufzuweisen hat. (Als Regentag gilt ein Tag, an welchem mindestens 1mm Niederschlag fällt.) Im Mittel wurden in der östlichen Landeshälfte bis anhin im Juni 14 Regentage beobachtet. 1980 waren es deren 24. Interessant ist dabei aber, dass trotz der vielen regnerischen Tage die effektiv gefallene Niederschlagsmenge zum Beispiel bei Flühli (nur) bei 139% (283mm) des langjährigen Durchschnittes liegt. Diese Summe liegt praktisch noch innerhalb des üblichen Schwankungsbereiches.

3.3 Zur Topografie des Gebietes

Wie beschrieben verlaufen die Südosthänge der Beichlen vereinfacht gesagt pultdeckelartig parallel zu den schräg gestellten Molasseschichten. Dieses klassische Bild wird durch das Felsband, welches vom Gipfel kretenartig

ostwärts zieht, gestört. Südlich davon findet man auf etwa 1580m und 1630m kleine, sogenannte Nackentälchen (langgezogene, ungefähr hangparallele Mulden). Der Berggrutsch von Flühli begann mit dem Abgleiten des nördlichen Teiles des oberen Nackentälchens gegen Südosten.

3.4 Ursache und Ablauf des Rutsches

Während des andauernden Regenwetters hatte das Wasser ausgiebig Gelegenheit, in der Mulde des oberen Nackentälchens ins Gestein einzudringen und die Molasseschichten zu tränken und zu sättigen. Es entstand eine Gleitschicht, und schliesslich rutschte eine Mergelschicht von bis zu 24m Mächtigkeit (im Durchschnitt 15m dick) über eine Nagelfluhschicht ab. Die Ursache für den Berggrutsch ist daher eine mindestens dreiteilige: Geneigte Molasseschichten, Nackentälchen und die lange Regenperiode.

Die hangparallele Anrissstelle ist 100–150 m lang. Von dort rutschte die Hauptmasse gegen Nordosten, z.T. über die erwähnte Krete in den Spittelgraben. Eine zweite Masse blieb südlich der Krete, rutschte und sackte bis zu 20m gegen Unterschwarzenberg. Dabei entstanden auf der einen Seite «Platzwunden» (Abb.6) an Stellen grossen Druckes und auf der anderen Seite tiefe Zugrisse im Boden. Viele einzelne Geländeteile schienen sich dabei relativ unabhängig voneinander bewegt zu haben, so dass man in diesem Gebiet Rutsch-, Druck-, Zug- und Fliesszonen dicht beieinander findet. Geomorphologisch ist dieser Teil des Berggrutsches noch heute sehr interessant, obschon



Abb.6 Durch den starken unterirdischen Druck wurde dieses Gestein aus dem Hang gequetscht und es entstand diese «Platzwunde» im Hang gegen Unterschwarzenberg. Oben in der Mitte der Anriss, der sich bis zum rechten Bildrand hinzieht. Das noch intakte Nackentälchen liegt am linken Horizont.

keine spektakulären Rutsche wie im Nordosten stattfanden. – Allgemein war das Anrissgebiet schon früher als unruhig bekannt. Es wurden Erdspalten und Bodenbewegungen festgestellt. Den Älplern fiel vor allem auf, dass sie ihre Zäune immer wieder verstellen mussten, um zu verhindern, dass das Vieh unruhige Zonen betritt.

Im oberen Teil und vor allem um die West-Ost-Krete herum konnte man das Naturereignis beinahe als Bergsturz bezeichnen, auch wenn es sich im Prinzip um einen Rutsch handelte. Oberhalb Spittel konnte man eher von einer Felslawine sprechen, und im Spittelgraben und Hellschwandbach entwickelte sich der Strom zu einem zähflüssigen, langsamen Murgang. Er wurde 5–50m breit und 2–10m mächtig. Oberhalb Spittel bewegte sich der Strom mit einer Geschwindigkeit von etwa 1m pro Minute, im Hellschwandbach bis zu 10m pro Minute.

Die Schätzungen der Rutschmasse gehen bis auf 2–3 Millionen m³. Diese Angaben dürften zu hoch sein. Es rutschte wahrscheinlich höchstens 1 Million m³, von denen nur ein bescheidener Teil den Talboden erreichte.

4. Die während des Berggrutsches getroffenen Massnahmen

Die folgende Aufzählung soll nur summarisch erfolgen. Bereits am 22.Juni wurden die Algebäude Unterschwarzenberg und Spittel evakuiert. Auf Unterschwarzenberg baute das Militär später an sicherer Stelle eine Notunterkunft und Notstallung. Am 23.Juni bildete der Gemeindepräsident von Flühli einen Krisenstab um sich, der am 25.Juni durch den kantonalen Krisenstab abgelöst wurde, welchem auch der Kommandant der Territorialzone II angehörte. Dieses Gremium wurde am 2.Juli wieder ersetzt durch den Not-



Abb.5 Der Anriss von oben gesehen. Links der Rutsch, von rechts ragt das Ende des abgerutschten Nackentälchens ins Bild. Der Beginn eines Entwässerungskanales ist ebenfalls zu sehen. Oben hinten in der Bildmitte das Alpbau von Unterschwarzenberg.

standsstab der Gemeinde. Die Aufgabe dieser Leitungsstäbe war es, alle Arbeiten zu koordinieren, denn zuerst standen immerhin die Feuerwehren von Flühli und Sörenberg und viele Private im Einsatz (etwa 50 Leute mit sämtlichen Baumaschinen von acht Unternehmungen im Tal). Diese Leute arbeiteten während der ersten drei Tage beinahe ohne Unterbruch, auch in der Nacht, bis sie am 25. Juni durch einen Teil und am 27. Juni durch die ganze Luftschutzkompanie II/28 abgelöst wurden.

Neben dem Bau des erwähnten Entlastungskanales und der Notbrücke über die Waldemme waren die Helfer von privater Seite, der Feuerwehr und des Militärs oft überbeschäftigt mit folgenden Arbeiten: räumen und ausbaggern von Waldemme und Hellschwandbach, errichten von Ufersicherungen aller Art (Dämme, Bretterwände, Sandsäcke), sprengen der grössten Felsblöcke, bauen einer Strasse, errichten von Notstegen und Bau einer Notunterkunft auf Alp Unterschwarzenberg, erstellen einer provisorischen Wasserleitung, Versorgung der abgeschnittenen Alpen (geschah auch mit Helikoptern), abzäunen der Weiden (circa 3 km neue Zäune), beleuchten der kritischen Gebiete bei Nacht, Drainagearbeiten der südlichen Teile beider Nackentälchen, überwachen des Abrutschgebietes, des Schuttstromes und der Talsohle, warnen und übermitteln. Zu all diesen Arbeiten erstellte der Feuerwehrkommandant mit seinen Offizieren verschiedene Befehle (Überwachung, Alarmorganisation, Übermittlung, Maschineneinsatz, Verpflegung, Ablösungen). Daneben wurden eine 12000 Volt-Leitung neu verlegt, eine Transformatorenstation verschoben und Telefonleitungen repariert. Ende der ersten Woche wurden erstmals die Geologen ins und übers Gebiet geflogen (heute ist Dr. S. Schlanke vom Kanton mit einem Gutachten beauftragt), und man begann im Anrissgebiet mit detaillierten Verpflockungen und Vermessungen. Alle Arbeiten wurden durch die ausgiebigen Regenfälle oft erheblich behindert.

5. Zu den angerichteten Schäden

8 Hektaren Weiden sind unbrauchbar geworden, 500–800m³ Holz liegen zerkleinert im Schutt, das Gerinne des früher harmlosen Hellschwandbaches ist heute zum Teil 3–4m tief und 10–25m breit eingefressen, Alpstrassen und Versorgungsleitungen sind zerstört. Wer bezahlt diese Schäden in der flächenmässig grössten und doch eher armen Gemeinde des Kantons Luzern? Für Gebäudeschäden kommt die kantonale Gebäudeversicherung auf, für jene am Kulturland die Schweizerische Hagelversicherungsgesellschaft, falls das



Abb. 7 Blick vom zum Stillstand gekommenen Teil des Berggrutsches hinunter auf die Alp Unterschwarzenberg: Links das alte, gefährdete Alpgebäude, rechts hinten die Notgebäude. Im Vordergrund sieht man einen der vielen Zugrisse im Boden.

Land gegen Elementarschäden versichert ist. Dabei sind allerdings die Alpen ausgenommen. Schliesslich besteht der «Schweizerische Fonds für Hilfe bei unversicherbaren Elementarschäden». Diese gemeinnützige Stiftung wird vor allem von den Erträgen aus Spielkasinos geüffnet und zahlt nur an Private und Alpgenossenschaften, nicht an Gemeinden und Kantone. Mit dem Geld soll in erster Linie verwüstetes Land rekultiviert und erst in zweiter Linie der Landwirt direkt finanziell entschädigt werden.

Wie gross die angerichteten Schäden wirklich sind, konnte nicht in Erfahrung gebracht werden, aber man schätzt sie höher als die zu erwartenden Leistungen von Fonds und Versicherungen. Es wurde darum eine Sammelaktion zu Gunsten der Geschädigten gestartet.

6. Ausblick

Es scheint, dass der Berggrutsch in einer recht stabilen Lage zur Ruhe gekommen ist, denn seit den letzten Bewegungen am 30. Juni fielen während zwei Wochen weiterhin ausgiebige Niederschläge. Dabei füllten sich die Risse im Gelände zum Teil vollständig mit Wasser, ohne dass die Rutschung nach Unterschwarzenberg oder nach Spittel wieder begonnen hätte. Trotzdem bleibt die Lage noch unsicher, und es müssen die Ergebnisse der photogrammetrischen und terrestrischen Vermessungen (inkl. die periodischen Nachmessungen in nächster Zukunft) sowie jene des geologischen Gutachtens abgewartet werden. Wie weit mit den bereits ausgeführten Entwässerungen der Nak-

entälchen zukünftige Rutschungen vermieden werden können, dürfte auch vom Bericht des Geologen abhängig sein. Wahrscheinlich sind aber Bohrungen und aufwendigere Untersuchungen notwendig, um den Berggrutsch (insbesondere seine Zweiteilung und die Lage der Rutschflächen gegen Süden) befriedigend erklären zu können und daraufhin im besten Fall den Rutsch in den Griff zu bekommen. Sicher sind Hangentwässerungen notwendig, denn in den Mulden darf sich in diesen geologischen Verhältnissen kein Wasser ansammeln, das dann in die Tiefe sickert und zu Gleitflächen führen kann. Das Wasser muss geordnet und rasch abgeführt werden. Ob dazu allerdings nur oberflächliche Grabendrainen genügen, ist noch unsicher.

Am 8. Juli wählte der Gemeinderat von Flühli eine «Beratende Kommission Bergsturz Flühli», in welcher neben dem Gemeindepräsidenten u. a. der beratende Geologe, das Meliorationsamt und der Kantonsgeometer vertreten sind. Die Kommission muss sich neben den erwähnten Fragen auch mit einem Warnsystem, der Neuerschliessung der abgeschnittenen Alpen, einer Verlegung der Alpgebäude auf Unterschwarzenberg, Aufforstungen und der Verbauung des Hellschwandbaches befassen. Durch die Erosion des gewaltigen Schuttstromes ergaben sich im einst harmlosen Bachgerinne recht gefährliche Situationen (Abb. 8), welche min-

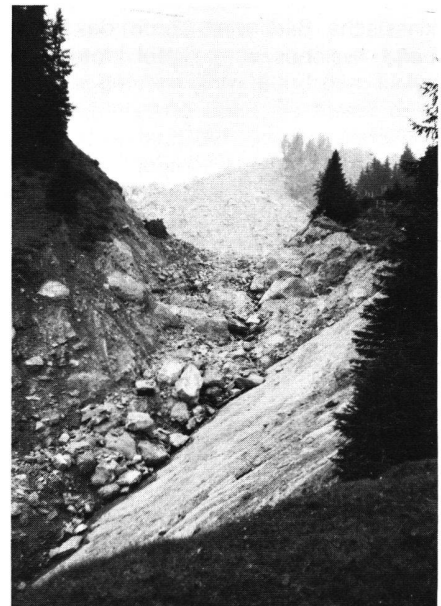


Abb. 8 Blick aus dem Spittelgraben hinauf an die Beichlen (Anrisszone nicht sichtbar). Die Situation im Vordergrund könnte einmal gefährlich werden: Rechts im Bild steht der blanke Fels an, links dominiert eine unbestimmt grosse Masse von Lockermaterial, welche bei einem nachfolgenden Murgang oder auch nur durch die Wassererosion angerissen und abgeschwemmt werden könnte.

destens eine teilweise, besser aber eine umfassende Verbauung zur Folge haben müssen.

Trotz der grossen Rutschmassen und eindrücklichen Schäden verlief der Bergrutsch von Flühli recht harmlos, wenn man bedenkt, wie rasch solche Felsmassen zu Tal fahren können (Berg-

rutsch von Goldau). Die Situation wurde auch durch die Topografie gemildert, durch welche verhindert wurde, dass das Geröll direkt hinunter auf die dicht besiedelte Talsohle der Waldemme fahren konnte (Abb.1). Damit könnte man beinahe sagen, der Wunsch auf dem Kreuz in der Nähe der Einmündung des

Hellschwandbaches in die Waldemme habe sich erfüllt: «Bhüet Gott Land und Lütli»

Adresse des Verfassers:
Fritz Zollinger, dipl. Kulturing. ETH
Institut für Kulturtechnik, ETH-Hönggerberg,
CH-8093 Zürich

Anwendung von Interpolationsverfahren in der Landestriangulation

A. Carosio

Interpolationsverfahren werden in der Triangulation immer mehr angewandt, um heterogene lokale Punktfelder in ein übergeordnetes System zu integrieren. Das Bundesamt für Landestopographie hat bei der Erneuerung der Triangulation in der Westschweiz die Interpolation nach kleinsten Quadraten verwendet (Programm QUINT). Die vorliegende Arbeit beschreibt das zugrundeliegende mathematische Modell und gibt Hinweise auf die Wahl der Interpolationsparameter.

La compensation des réseaux trigonométriques est de plus en plus souvent complétée par un calcul d'interpolation qui permet d'intégrer plusieurs réseaux hétérogènes dans un système global préexistant. L'Office fédéral de topographie a utilisé l'interpolation par les moindres carrés (programme QUINT) dans le cadre du renouvellement de la triangulation de la Suisse romande. Le présent travail décrit le modèle mathématique sur lequel les calculs ont été basés et donne des indications pour le choix des paramètres de l'interpolation.

1. Allgemeines

In der Triangulation, wie in anderen Gebieten der Geodäsie, wird man oft mit Problemen konfrontiert, die mathematisch mit Interpolationsverfahren gelöst werden können.

Die Aufgabestellung ist die folgende: Gegeben sind zwei Systeme, in welchen die gleichen Punkte enthalten sind. Im ersten System (globales System) sind nur die Koordinaten einiger Punkte (Stützpunkte) bekannt, während im zweiten System (lokales System) die Koordinaten aller Punkte vorliegen. Gesucht sind die Koordinaten aller Punkte im globalen System.

Für die Lösung des Problems wird eine geeignete mathematische Abbildung (Interpolationsfunktion) zwischen den Koordinaten im lokalen System und jenen im globalen System benötigt. Nur selten kann eine solche Abbildung eine einfache geometrische Transformation (Translation, Rotation) sein, da in den meisten Fällen globale und lokale Koordinaten verschiedene Ungenauigkeiten zufälliger und systematischer Natur aufweisen.

Für die Wahl einer geeigneten Interpolationsfunktion müssen die funktionalen und statistischen Eigenschaften der vorhandenen Koordinaten (das mathematische Modell) genügend genau bekannt sein. Je nach Modell ist die eine, die andere oder überhaupt keine Interpolationsfunktion zweckmässig.

2. Anwendungen in der schweizerischen Triangulation

2.1 Geschichte

Die Landestriangulation wurde und wird sukzessiv aufgebaut: die Triangula-

tion niederer Ordnung wird in die bestehende Triangulation höherer Ordnung eingeführt, neue Operate müssen mit den älteren Nachbaroperaten verbunden werden usw. Das heisst: neue Netze werden durch wenige gemeinsame Punkte in das vorhandene angepasst. Das Problem der Anpassung kann als Interpolationsproblem aufgefasst und durch die Wahl geeigneter Abbildungsfunktionen gelöst werden. Bis vor kurzem wurde vor allem interpoliert, ohne explizit von Interpolation zu sprechen. Man nutzte die interpolatorischen Eigenschaften der eingezwängten Ausgleichung, welche bei homogenen Netzen die Restzwänge regelmässig verteilt wie ein Interpolationsverfahren.

Das Vorgehen ist wirtschaftlich, da die eingezwängte Ausgleichung weniger Unbekannte hat als das freie Netz, und eine getrennte Berechnung der Interpolation entfällt. Die Nachteile treten bei Inhomogenitäten in Erscheinung, da die Zwänge nicht mehr gleichmässig verteilt werden und an den schwachen Stellen bleiben.

In den Abrissen inhomogener eingezwängter Netze weisen schwache Verbindungen grosse Verbesserungen auf, die keineswegs auf fehlerhafte Beobachtungen zurückzuführen sind. In solchen Fällen haben erfahrene Geodäten das Gewicht der Beobachtungen mit grossen Verbesserungen erhöht, um eine in Wirklichkeit nicht vorhandene Homogenität zu simulieren.

2.2 Gegenwärtige Entwicklungen

Im letzten Jahrzehnt haben explizite Interpolationsverfahren in der Geodäsie an Bedeutung gewonnen und viele

empirische ersetzt. Auch in unserer Landestriangulation wurden einige Anwendungen im Zusammenhang mit der Erneuerung der Triangulation in der Westschweiz realisiert, die im folgenden beschrieben werden.

Die theoretischen Arbeiten wurden hauptsächlich von D. Schneider im Bundesamt für Landestopographie zwischen 1978 und 1979 ausgeführt. Er bearbeitete auch die ersten Anwendungen in der Westschweiz im Operat 3. Ordnung Broye. Seit Mitte 1979 ist U. Hüni mit der Fortsetzung solcher Berechnungsarbeiten beauftragt. Er bearbeitete unter anderem die Interpolation nach kleinsten Quadraten 3. Ordnung Orbe und 4. Ordnung Broye.

3. Die Erneuerung der Triangulation höherer Ordnung

Seit der Einführung der elektronischen Distanzmessung werden bei Ergänzungsarbeiten in der Triangulation 4. Ordnung Gebiete entdeckt, in welchen die Triangulationspunkte höherer Ordnung nicht die erwünschte Genauigkeit erreichen.

Die Ursache dieser lokalen Ungenauigkeiten liegt hauptsächlich in der Berechnungsmethode, die anfangs Jahrhundert verwendet worden war: die sukzessive Ausgleichung von Einzelpunkten, welche nur zu guten Resultaten führt, wenn die Reihenfolge der Berechnungen gut gewählt wird und wenn die Netzverbindungen so homogen verteilt sind, dass die in einem Schritt entstandenen Fehler in den darauf folgenden gleichmässig verteilt werden.

In der Westschweiz zum Beispiel, wo das Gelände hügelig und bewaldet ist,