

Der Felsrutsch und Bergsturz Beichlen : Gemeinde Flühli, Kanton Luzern

Autor(en): **Schlanke, S.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Luzern**

Band (Jahr): **27 (1982)**

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-523409>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Der Felsrutsch und Bergsturz Beichlen

GEMEINDE FLÜHLI, KANTON LUZERN

von

DR. S. SCHLANKE

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung	6
2. Regionalgeologische Situation	6
3. Geologie des Rutschgebietes	8
4. Ursachen des Rutsches/Bergsturzes	8
5. Ursachen der Murgänge	10
6. Gliederung des Rutschgebietes	12
7. Beschreibung des Rutsches	12
8. Kubaturen	15
9. Abklärungen und Messprogramme	16
10. Zusammenfassung der Messergebnisse	18
10.1. Pflockreihenvermessung	18
10.2. Spalten- und Anrissvermessungen	19
10.3. Geodätische Vermessungen	20
10.4. Distometermessungen	20
10.4.1. Messungen im Bereich des oberen Nackentälchens «N»	20
10.4.2. Messungen im Bereich der Rutschfläche «R»	22
11. Beurteilung der weiteren Gefährdung	23
12. Schlusswort	23

Figurenverzeichnis:

Fig. 1 Tektonische Übersichtskarte 1:200 000 aus U. GASSER Eclogae geol. Helv. 59/2	7
Fig. 2 Kurvenkarte des Rutschgebietes mit Gliederung der Rutschmasse	13
Fig. 3 Hypothetischer Profilschnitt durch die Rutschmassen	17

Abbildungen:

Abb. 1: Übersicht mit den wichtigsten Einheiten	5
Abb. 2: Region Trichter	9
Abb. 3: Oberes Nackental (N), Abrisswand und Rutschfläche R	11
Abb. 4: Detailaufnahme: Lockergesteinsfüllung (L) im oberen Nackental (N)	11
Abb. 5: Unterschiebung von M ₂ durch M ₁	15
Abb. 6: Hochgedrückte Masse M ₂	17
Abb. 7: Blick von der Rutschfläche ins Tal	19
Abb. 8: Rüfi unterhalb Alp Spittel	21
Abb. 9: Schuttkegel des ersten Murgangs bei Rorigmoos	21

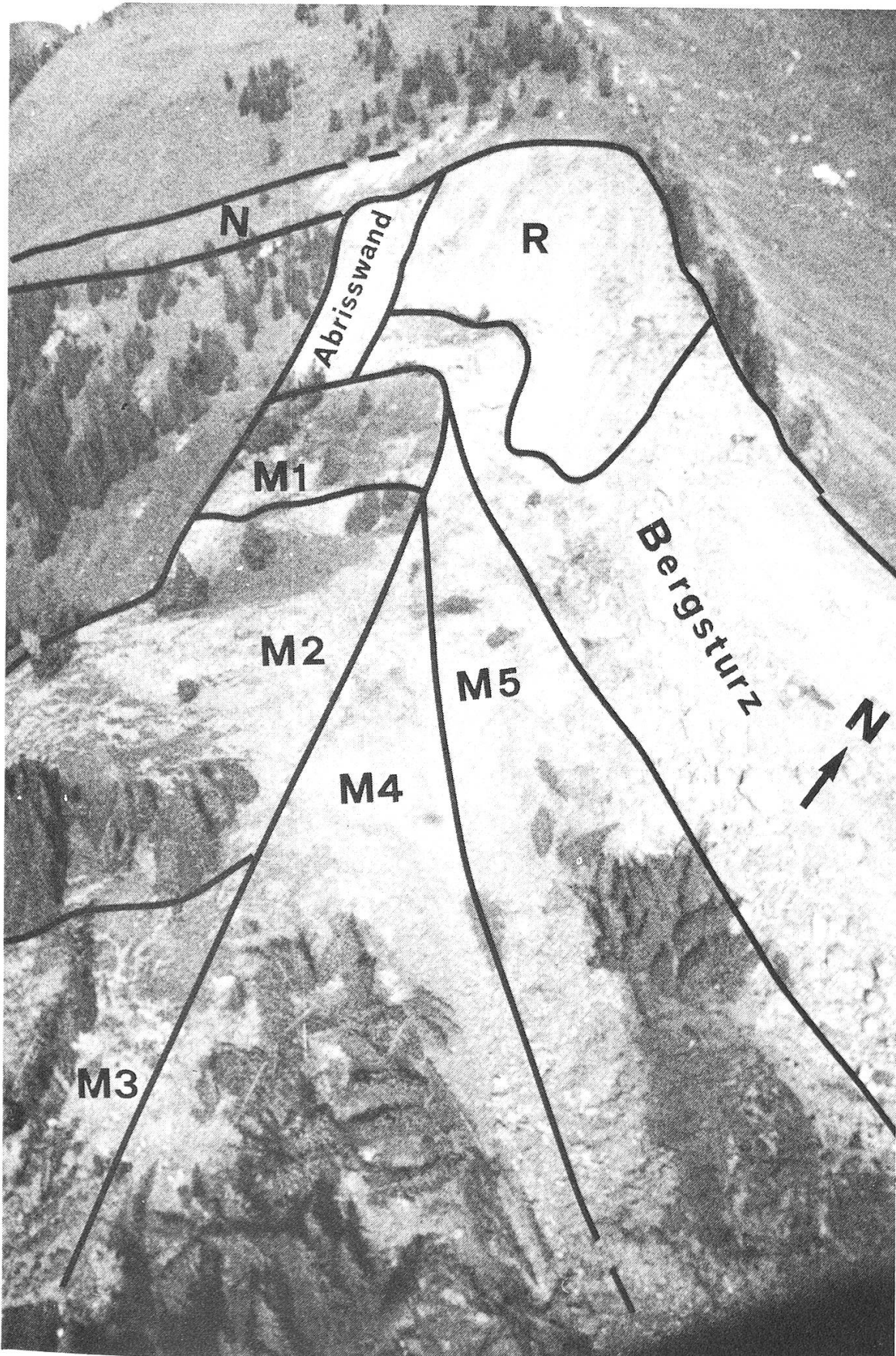


Abb. 1: Übersicht mit den wichtigsten Einheiten

1. EINLEITUNG

Am 22. Juni 1980 ging auf den Alpen Unter-Schwarzenberg und Spittel in der Gemeinde Flühli/LU ein Felsrutsch nieder. Aus diesem Felsrutsch entwickelte sich anschliessend ein Murgang, der via Spittelgraben, Falkenbach und Hellschwandbach den Talboden bei Rorigmoos erreichte und die Waldemme zu stauen drohte.

Am 27. Juni beschloss der Regierungsrat des Kantons Luzern ein Gutachten über die Gefahrensituation erstellen zu lassen. Im weiteren sollten Vorschläge zur Verhinderung weiterer Schäden sowie zur Überwachung des gefährdeten Gebietes erarbeitet werden. Als geologischer Experte wurde der Verfasser dieser Publikation bestimmt.

Aufgrund dieses Auftrages fanden am 27. und 28. Juni erste Begehungen statt, deren Resultate in einem ersten Zwischenbericht vom 30. Juni 1980 festgehalten wurden. Ein umfassender Zwischenbericht wurde am 7. April 1981 erstellt.

In der Nacht vom 29. auf den 30. Juni 1980 fand ein zweiter Ausbruch des oben erwähnten Murgangs statt, der diesmal vor allem auch groben Blockschutt mitführte. Auch wurde ein kleinerer Abbruch im Anrissgebiet des Felssturzes beobachtet.

Im Anschluss an die ersten Begehungen wurden in Zusammenarbeit mit Ämtern und Instanzen von Kanton, Gemeinde und Militär sowie zusammen mit privaten und ETH-Experten verschiedene Massnahmen zur Überwachung des Rutschgebietes sowie zur Abklärung einer allfälligen weiteren Gefährdung in Angriff genommen.

Zur Koordinierung dieser verschiedenen Massnahmen konstituierte sich unter dem Präsidium von Herrn H. Schnider, Gemeindepräsident von Flühli, die «Beratende Kommission Bergsturz Beichlen», welche anlässlich mehrerer Sitzungen das notwendige Vorgehen festlegte und auch in Zukunft – je nach Situation – über den Bergsturz wachen wird.

Der Verfasser dieser Publikation möchte an dieser Stelle der Kommission für die bisherige kooperative Zusammenarbeit danken. Besonderer Dank gilt aber auch denjenigen, welche in den ersten Stunden und Tagen nach dem Bergsturz durch massiven persönlichen Einsatz das Schlimmste zu verhindern wussten.

2. REGIONALGEOLOGISCHE SITUATION

Das Gebiet der Beichlen, in dem der Felssturz niederging, gehört zu einer NE-SW verlaufenden Zone von Molasseablagerungen, welche hinsichtlich ihrer Genese, ihres Alters sowie ihrer Tektonik eine Einheit bilden (vgl. Fig. 1).

Die Gesteine dieser Molasseablagerungen werden zum tieferen Teil der Unteren Süsswassermolasse gezählt und dürften vor rund 30 bis 25 Mio Jahren abgelagert worden sein. Schon damals wurde alpiner Schutt durch Flüsse von Süden nach Norden in die Vorlandsenke verfrachtet und eingesedimentiert. Durch die stetige Änderung der Transportkraft wurden in wechselnder Folge Gerölle, Sande und Tone schichtweise übereinandergelagert. Da sich die Sedimentationsbecken zu jener Zeit entsprechend der Menge des zugeführten Gesteinsmaterials senkten, gelangten die Schichten in immer grössere Tiefen und wurden durch den Überlagerungsdruck kompaktiert und zementiert. So entstanden aus dem anfangs lose geschütteten Detritus Nagelfluh-, Sandstein- und Mergelbänke.

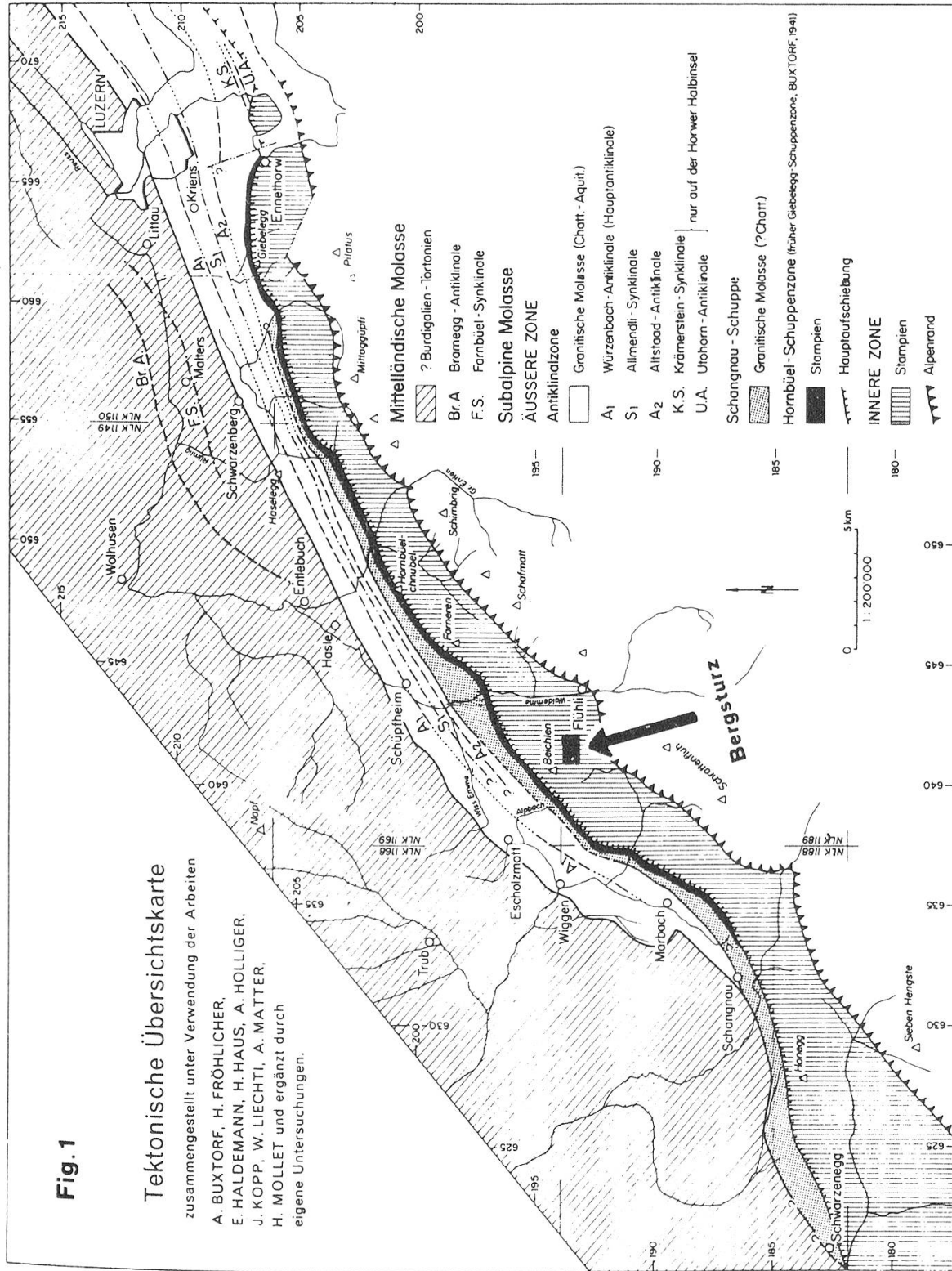


Fig. 1: Tektonische Übersichtskarte (1:200 000, aus U. GASSER, Eclogae geol. Helv. 59/2).

Durch zunehmenden alpinen Druck aus Süden wurden die Schichten in einer späteren Zeitphase angehoben und nach Norden verfrachtet. Dabei zerbrachen die im Süden des Beckens abgelagerten nagelfluhreichen Schichtpakete und wurden dachziegelartig übereinandergeschoben. Ein solches Schichtpaket stellt nun die Beichlen-Schuppe dar.

3. GEOLOGIE DES RUTSCHGEBIETES

Die Molasseschichten der Beichlen wurden nicht in unregelmäßiger Abfolge, sondern zyklisch abgelagert, d.h. eine bestimmte Reihenfolge von Schichten wird mehrmals wiederholt. Ein idealer Molassezyklus würde folgendermassen aussehen:

5. Kalke, Kohle
4. Mergel- und Tonsteine
3. Siltsteine
2. Sandsteine
1. Konglomerate

Vielfach, und besonders im Ablagerungsraum der Beichlen, wurden jedoch die feinkörnigen Glieder des Zyklus von der basalen, grobdetritischen Ablagerung des nächst höheren Zyklus aberodiert und weggeschwemmt. Aus diesem Grund beträgt der prozentuale Schichtanteil von Nagelfluh und Sandstein an der Beichlen etwa 70 %, derjenige von Mergeln und Siltsteinen etwa 30 %.

Hinsichtlich der Lagerung fallen die Schichten mit ca. 35° Neigung hangparallel gegen SE ein. Die starke Neigung sowie das hangparallele Einfallen führte seit Bestehen der Beichlen zu kleineren und grösseren Bewegungen auf den Mergelschichten. Zeugen dieser Bewegungen sind am ganzen SE-Abhang der Beichlen reichlich vorhandene Nackentälchen, Rutschharnische und Bergsturzmaterial. Nackentälchen bilden sich, indem ein höheres Schichtpaket auf einer mergeligen Gleitfläche talwärts rutscht. Die Mulde, welche hinter diesem Schichtstoss entsteht, wird mit der Zeit durch meist toniges Lockermaterial aufgefüllt (vgl. Abb. 3 und 4). Ein solches, mit wassergesättigtem Lockermaterial aufgefülltes Nackentälchen bildete auch die obere Begrenzung der am 22. Juni abgefahrenen Rutschmasse.

4. URSACHEN DES RUTSCHES/BERGSTURZES

Die grundlegende Ursache ist durch das steile, hangparallele Einfallen der Schichten sowie deren gesteinsmässige Zusammensetzung gegeben. Da die Mergellagen im Gegensatz zu den Sandstein- oder Nagelfluhschichten praktisch wasserundurchlässig sind, bilden sie potentielle Gleithorizonte. Letztere wurden durch die auslösende Ursache, das Wasser aktiviert. Falls das auf eine Mergelschicht einsickernde Wasser durch natürliche Drainage (z.B. Quellaustritt) nur ungenügend abgeleitet wird, nimmt die Porenwasserspannung in der potentiellen Gleitfläche zu. Gleichzeitig vermindert sich die Scherfestigkeit des Mergels, und das Gesteinspaket über der Gleitfläche beginnt zu kriechen.

Dass diese Kriechbewegungen schon Jahrzehnte, vermutlich aber noch wesentlich früher, vor dem eigentlichen Bergsturz, stattfanden und sich in Form von zunehmen-



Abb. 2: Region Trichter

den Spalten- und Rissbildungen manifestierten, wurde durch Augenzeugen und eine Reihe von älteren Luftaufnahmen der Landestopographie bestätigt. Ausserdem wurde oberhalb des Abrissrandes auf derselben Mergelschicht eine Vielzahl von Calcitrutschharnischen beobachtet, was auf frühere Bewegungen in diesem Niveau hindeutet und wohl zur Bildung des oberen Nackentales geführt hatte.

Infolge dieser langjährigen Kriechbewegungen wurden durch Umorientierung der Tonmineralien der Reibungswinkel und somit auch die Scherfestigkeit des Mergels stark vermindert. Ausserdem bewirkten die zunehmenden Oberflächenrisse eine starke Durchnässung des Hanges, welche die vorhandene Schubspannung vergrösserte und die potentielle Rutschmasse in ein labiles Gleichgewicht brachte. Sicher negativ dürfte sich die Präsenz des oberen Nackentales ausgewirkt haben, denn selbst bei trockener Witterung sorgte dieser Wassersack für eine stete Bewässerung der Rutschfläche.

Der eigentliche Bergrutsch wurde vermutlich durch das Zusammentreffen von zwei Faktoren ausgelöst:

1. Kriechbewegungen und kleinere Rutschungen verschlossen kurz vor dem Ausbruch das bis anhin mehr oder weniger funktionierende Drainagesystem in den Felsmassen.
2. Gleichzeitig erhielt das Gebiet vor dem Abrutsch ausgiebige Niederschläge, welche einerseits durch die Oberflächenrisse, andererseits aus dem wassergesättigten Nackentälchen auf die Rutschfläche gelangten.

Beim Betrachten der täglichen Niederschlagswerte der Messstation Flühli vom 1.4.80 bis zum 31.10.80 zeigt sich sofort deutlich, dass der Rutsch Beichlen am 22.6.80 und der zweite Murgang-Ausbruch vom 29.6.80 in eine Periode mit häufigen und ausgiebigen Niederschlägen fielen: Vom 27.5.80 bis zum 22.6.80 sind ca. 200 mm Niederschlag registriert worden, wobei zwei besonders intensive Regenperioden vom 27.6.80 bis 1.7.80 mit 78 mm (13 mm/Tag) und vom 6.6. bis zum 10.6.80 mit 73 mm (fast 15 mm/Tag) festgestellt werden konnten.

Interessanterweise sind kurz vor dem Rutsch keine besonders intensiven Niederschläge zu verzeichnen.

Man muss sich den Auslösemechanismus für die Rutschbewegung wohl so vorstellen, dass die Wasserzufuhr, wie bereits erwähnt, sowohl durch die Oberflächenspalten als auch über das Nackental mit einer gewissen Verzögerung die spätere Gleitfläche erreichte und dort infolge mangelnder Drainage für die kritische Zunahme des Porenwasserdruckes sorgte.

Die Hypothese, dass die plötzliche Verstopfung der Abflusskanäle die *eigentliche* rutschauslösende Ursache war, scheint umso plausibler, wenn man bedenkt, dass das Gebiet praktisch in jedem Jahr zuvor ebenso grosse Niederschlagsmengen erhielt wie 1980.

Ein Vergleich mit dem Jahr 1979 zeigt, dass solche Regenperioden an und für sich nicht so selten sind: Zwischen dem 10.6.79 und dem 16.6.79 fielen ca. 163 mm Regen, was ein Mittel von über 23 mm/Tag ergibt. Diese Niederschläge hätten eigentlich schon damals zur Rutschauslösung ausgereicht.

Die hauptsächlichsten Ursachen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die subalpinen Molasseschichten fallen mit ca. 35° hangparallel ein. Jeder Hang mit diesen morphologischen und tektonischen Verhältnissen ist bei Anwesenheit von Mergelschichten früher oder später rutschgefährdet.
- Abbau des Reibungswinkels durch vorangegangene Kriechbewegungen.
- Durchnässung des Hanges und damit Zunahme der Schubspannung.
- Niederschlagsreiche Periode.
- Verstopfung der natürlichen Drainagesysteme durch Kriechbewegungen und Aufbau der Porenwasserspannung.

5. URSACHEN DER MURGÄNGE

Ein Bergrutsch oder Bergsturz muss nicht unbedingt einen Murgang (Rüfi) auslösen. Hierzu braucht es vor allem günstige topographische Verhältnisse und viel Wasser.

In unserem Fall begünstigte die Verengung beim Trichter (vgl. Fig. 2 und Abb. 2), oberhalb Spittel, eine intensive Durchmischung des Schuttes mit Wasser. Der anschliessende steile Abfall des Spittelgrabens sorgte für einen raschen Abfluss der Massen.

Der erste Murgang ist bekanntlich aus dem durch den Rutsch vom 22.6.80 freigesetzten Schutt in der Hangmulde oberhalb Spittel entstanden und zwar mehr oder weniger anschliessend an diesen Rutsch. Nun sind aber unmittelbar vor und nach dem Rutsch, wie bereits erwähnt, nur bescheidene Regenmengen gefallen, die allein wohl kaum zur Wassersättigung dieser Schuttmassen ausgereicht hätten. Es muss wohl an-



Abb. 3: Oberes Nackental (N), Abrisswand und Rutschfläche R

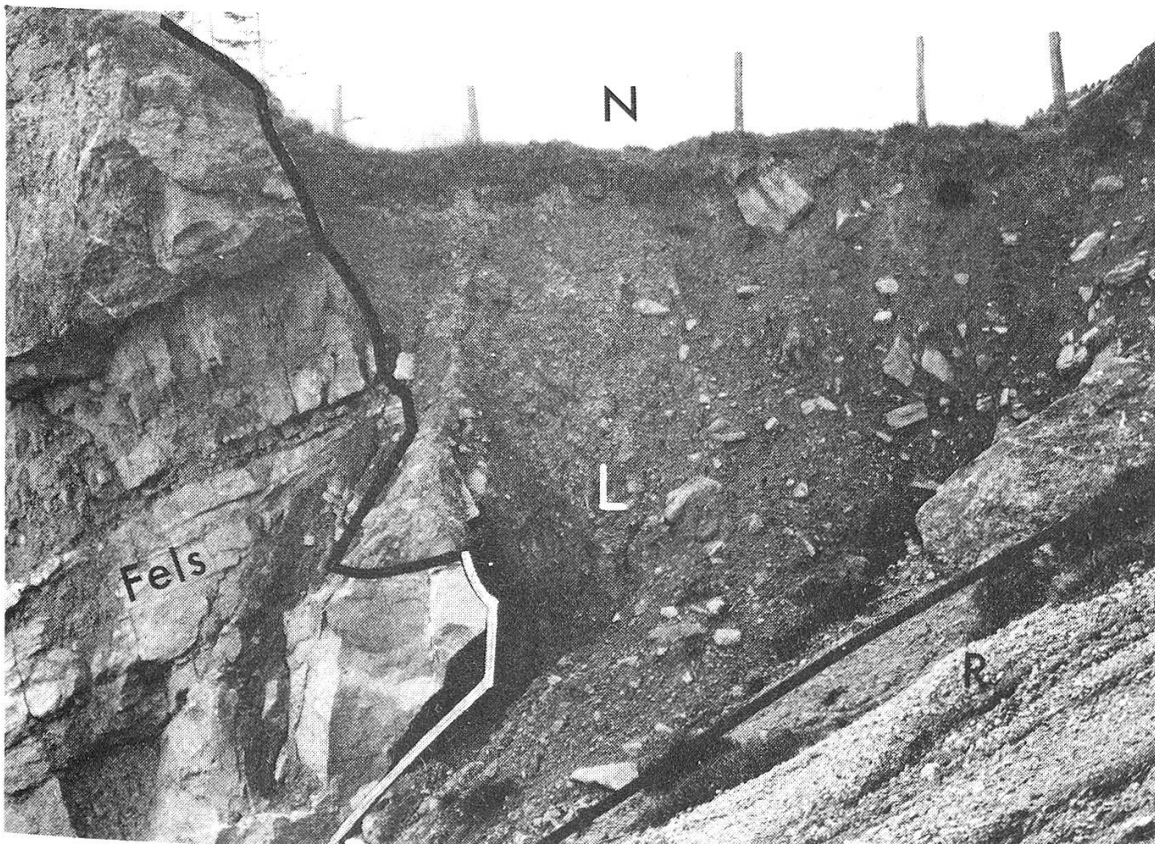


Abb. 4: Detailaufnahme:
Lockergesteinsfüllung (L) im oberen Nackental (N)

genommen werden, dass die bereits einige Tage früher gefallen beträchtlichen Niederschlagsmengen in den zahlreichen Spalten und Rissen gestaut und beim Abgleiten des Rutsches freigesetzt wurden, so dass genügend Wasser zur Bildung eines Murgangs zur Verfügung stand.

Auf dem rund 2,5 km langen Fliessweg zwischen Trichter und Waldemme erreichte beim ersten Murgang vorwiegend feindetritisches Material den Talgrund. Entsprechend der abnehmenden Transportkraft des Murgangs blieb die grobblockige Fraktion in kleineren und grösseren Becken liegen (z.B. Falkenbachbecken).

Beim zweiten Murgang vom 29.6.80 fielen in den 5 vorhergehenden Tagen über 90 mm Regen und sorgten für eine zunehmende Wassersättigung der Schuttmassen in der Hangmulde oberhalb des Trichters sowie in den oben erwähnten Becken unterhalb Spittel. Bereits am 27.6.80, d.h. 2 Tage vor dem zweiten Murgang, wurde die Transportleistung im Trichter auf ca. 30 m³/Minute geschätzt. Beim Ausbruch bewältigte die Murgangfront den ca. 2,6 km langen Weg ins Tal in nur etwa 8 Minuten. Durch sein erhöhtes spezifisches Gewicht vermochte der Murgang nun auch Felsblöcke von mehreren m³ ins Tal zu verfrachten.

6. GLIEDERUNG DES RUTSCHGEBIETES

Mit Hilfe von Luftaufnahmen und mehreren Geländebegehungen wurde versucht, das Rutschgebiet in sinnvolle Einheiten zu gliedern. Diese Gliederung diene vor allem der geographisch-morphologischen Orientierung im Felde sowie einer einheitlichen Bezeichnung der verschiedenen Einheiten (vgl. Fig. 2 und Abb. 1 und 2)

N	= Oberes Nackental. Die nördliche Fortsetzung bildete den oberen Abrissrand des Rutsches
L	= Lockergesteinsfüllung
R	= Freie, sichtbare Rutschfläche
M ₁ –M ₅	= Rutschmassen 1–5
Bergsturz	= Mulde, welche vorwiegend mit grobblockigem Bergsturzmaterial gefüllt ist
Trichter	= Morphologische Verengung des Bergsturz- und Rutschgebietes, Übergang zum Spittelgraben
Spittelbergli	= Anstehende Molassefelsrippe

7. BESCHREIBUNG DES RUTSCHES

Wie bereits aus dem Kapitel »Ursachen des Rutsches« deutlich hervorgeht, hatte sich der Rutsch über Jahrzehnte und länger allmählich entwickelt und beschleunigt. Nach Augenzeugenberichten kündete bereits in der Nacht vom 21. auf den 22.6.80 das laut knallende Zerreißen von Baumwurzeln eine Zunahme der Rutschgeschwindigkeit an. Am darauffolgenden Tage, gegen 15.30 h, wurde ein Weidestück zu einer grossen »Blase« aufgewölbt (Abb. 6), ein Vorgang, der in diesem Gebiet schon verschiedentlich beobachtet worden war. Die unterhalb des oberen Nackentälchens gelegene Weide begann zu rutschen, und gegen 18 h polterten die ersten Felsblöcke talwärts. Noch am folgenden Tage rutschten Gesteinsmassen in Richtung Trichter und Alp Unter-Schwarzenberg.

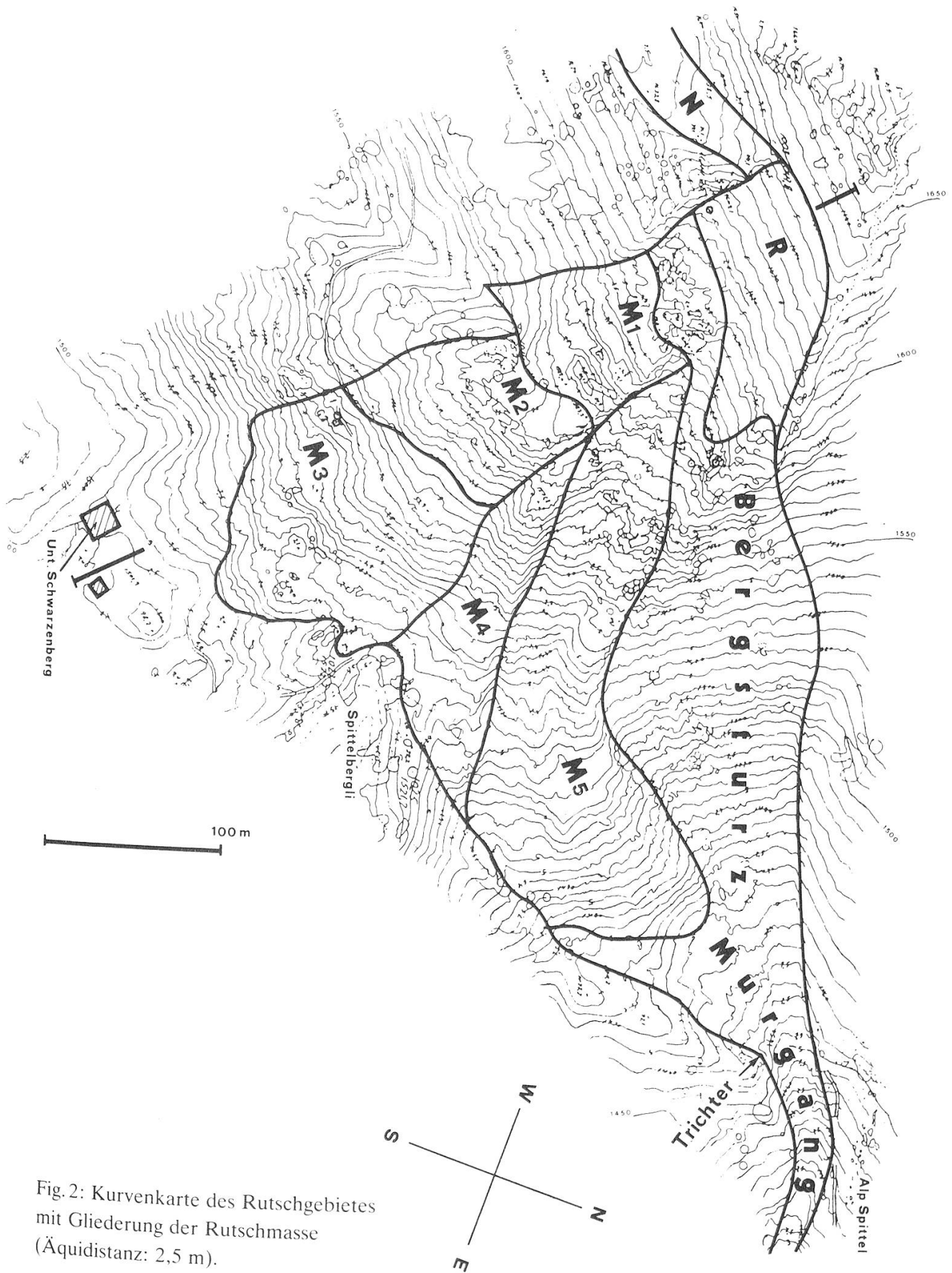


Fig. 2: Kurvenkarte des Rutschgebietes mit Gliederung der Rutschmasse (Äquidistanz: 2,5 m).

Diese in knapper Form zusammengefassten Augenzeugenberichte dokumentieren deutlich, dass der eigentliche Bergsturz eher langsam vor sich ging. Im Gegensatz dazu stürzten beim Goldauer Bergsturz – dessen geologische Situation vor dem Sturz praktisch identisch war mit derjenigen an der Beichlen – innert *weniger Minuten* ca. 50 mio m³ Gestein zu Tale.

Die erste Bewegung im Rutschgebiet Beichlen wurde vermutlich durch die Masse M₁ ausgelöst, indem sie, damals noch die ganze Rutschfläche R bedeckend, in der Fallrichtung des Hanges gegen die Masse M₂ drückte. In diesem Stadium dürfte das erste laute Knallen der Baumwurzeln stattgefunden haben. Mit zunehmendem Druck begann die ca. 25 m mächtige Masse M₁ die Masse M₂ zu unterschieben und mehrere Meter hochzudrücken (vgl. Abb. 6).

Das Resultat dieser Phase wurde von den Augenzeugen als »Blase« im Weidland bezeichnet. Die Schichten von M₂ liegen nun ± horizontal (Abb. 5), und die Oberfläche ist von zahlreichen Dehnungsrissen gekennzeichnet. Das Unterschieben vom M₁ wurde vermutlich durch das bereits vor dem Rutsch hinter M₂ existierende Nackental erleichtert.

Inwieweit die Masse M₃ durch die tiefgreifende Bewegung von M₁ oder durch relativ oberflächennahen Schub von M₂ in Bewegung geriet, kann ohne genaue Lagekenntnis des oder *der* Gleithorizonte nicht beantwortet werden (Fig. 3). Eine Kernbohrung im Bereich von M₂ mit Slope-Indikatormessungen könnte viele offene Fragen beantworten.

Von der Morphologie her gesehen vermittelt M₃ generell den Eindruck einer wenig mächtigen und um einen relativ bescheidenen Betrag talwärts gerutschten Masse. Ein Mass für die Dislokationsbeträge in dieser Region liefert das abgerissene Stück des Weges Unter-Schwarzenberg–Ober-Schwarzenberg. Es wurde gegenüber dem in situ verbliebenen Stück um ca. 7 m talwärts verschoben und um etwa 3 m abgesenkt.

Die nordöstliche Begrenzung von M₁, M₂ und M₃ bildet eine auf der neuen photogrammetrischen Vermessung und auch auf den Luftphotos deutlich sichtbare Trennlinie, die von der anstehenden Felsmasse des Spittelberglis ausgehend in der Fall-Linie den Hang hinaufzieht (vgl. Fig. 2). Es ist anzunehmen, dass diese Trennlinie bereits während des Niederganges von M₁, evtl. schon früher, angelegt wurde. Ihre volle Ausbildung erhielt sie, als die Massen M₁, M₂ und M₃ in ihrer ursprünglichen Breite gegen den Keil des Spittelberglis drückten. Längs der Trennfläche wurden die Massen geteilt: M₁, M₂ und M₃ rutschten mit ihrer heute noch sichtbaren Ausdehnung gegen Alp Unter-Schwarzenberg, während die neu gebildeten Massen M₄ und M₅ in Richtung Trichter abgedrängt wurden. Zu diesem Zeitpunkt dürften, bedingt durch die Drehbewegung von M₄ und M₅, die ersten Bergstürze in Richtung Trichter stattgefunden haben. Das meiste Bergsturzmaterial stammt vermutlich aus dem ehemals nordöstlichen Teil der Massen M₁ und M₂.

Auswertungen zusätzlicher Luftaufnahmen sowie Beobachtungen bei späteren Begehungen zeigen deutlich, dass die Rutschmasse M₄ sowie die vom Bergsturz teilweise bedeckte Masse M₅, im Gegensatz zum angrenzenden Bergsturzmaterial, einen immer noch lose zusammenhängenden Gesteinsverband bilden.

Bereits in diesem Kapitel wurde auf die ähnliche geologische Situation im Goldauer Rossberggebiet und im Beichlengebiet hingewiesen. Beide Regionen gehören zur subalpinen Molasse und weisen denselben tektonischen Baustil auf. Ebenso vergleichbar ist das Alter der Ablagerungen (unterer Teil der Unteren Süsswassermolasse).



Abb. 5: Unterschiebung von M_2 durch M_1

se) sowie die gesteinsmässige Zusammensetzung der Schichten: Wechsellagerung von Nagelfluh, Sandstein und Mergel. Ausserdem liegt in beiden Fällen hangparalleles Schichtfallen vor.

Neben den geschilderten Übereinstimmungen bestehen jedoch zwei gewichtige Unterschiede: Beim Goldauer Bergsturz rutschten die Felsmassen auf einer relativ schwach geneigten Gleitfläche von 18° – 21° ab. Infolge des deutlich steileren Schichtfallens an der Beichlen (36°) lag hier eine wesentlich grössere potentielle Rutschgefahr vor als am Rossberg. Dass der Beichlenrutsch dennoch nicht das Ausmass des Goldauer Sturzes annahm, ist – abgesehen von der viel kleineren Kubatur – einzig und allein den topographisch-morphologischen Gegebenheiten zuzuschreiben. Im Gegensatz zum Rossberg, wo die Felsmassen relativ ungehindert zu Tale sausten, wurde der grösste Teil der Rutschmassen an der Beichlen durch das Spittelbergli abgebremst und durch seinen nordöstlichen Ausläufer in Richtung Trichter abgelenkt. Die relativ enge Öffnung des Trichters selbst verhinderte ein ungestörtes Abfliessen des ersten Murganges.

8. KUBATUREN

Zur Berechnung der Kubaturen wurden die Höhenlinien der alten und neuen Topographie übereinandergelegt. Zahlreiche Profilschnitte ermöglichten so einen unmittelbaren Vergleich zwischen den Geländeformen vor und nach dem Rutsch. Hier-

bei ist jedoch zu bemerken, dass die neue fotogrammetrische Vermessung eine viel genauere und detailliertere Kurvendarstellung ergab als die alte Karte von 1939. Ausserdem ist zu beachten, dass die neue Vermessung das Rutschgebiet *nach* dem Niedergang von 2 Murgängen darstellt.

- Bei der Berechnung der Kubaturen müssen 2 Punkte im Auge behalten werden:
- In Anbetracht der oben erwähnten Ungenauigkeit der Karte kann es sich bei diesen Berechnungen nur um eine grobe Festlegung der Grössenordnungen handeln.
 - Gegenstand dieser Berechnungen kann immer nur das Massendefizit im Abrissbereich oben oder der Massenzuwachs unten sein, jedoch nicht die Gesamtheit der bewegten Masse, die nur bei Kenntnis der Lage der Rutschflächen im mittleren und unteren Teil einigermassen zuverlässig bestimmt werden könnte.

Unter Berücksichtigung dieser Faktoren wurden folgende Kubaturen geschätzt:

Massendefizit im Bereich der Abrisse:	220 000 m ³
Akkumulation oberhalb Unter-Schwarzenberg:	105 000 m ³
Akkumulation in der Hangmulde oberhalb Trichter:	130 000 m ³

Die Kubatur oberhalb des Trichters zeigt die Lage nach zwei Murgängen, die beträchtliche Gesteinsmengen ins Tal verfrachtet haben. Die trotzdem noch vorhandene Diskrepanz zwischen der Summe der unten abgelagerten Masse und den heute im Abrissbereich fehlenden Kubaturen liegt darin, dass die Akkumulationen unten einen stark gestörten Schichtverband aufweisen und darum ein höheres Volumen beanspruchen.

Wie oben erwähnt wurde, ist man bei der Ermittlung der Gesamtrutschmasse nach wie vor auf Schätzungen angewiesen. Für eine zuverlässige Ermittlung dieser Zahl wären mehrere Bohrungen zur Festlegung der Rutschfläche im mittleren und unteren Teil des Rutschgebietes nötig.

Auch nach Verarbeitung von zahlreichen zusätzlichen Daten ergeben Schätzungen ein Gesamtvolumen der beim Rutsch bewegten Massen von unter 1 Mio m³.

9. ABKLÄRUNGEN UND MESSPROGRAMME

Ein Teil der eingesetzten Hilfsmittel und Untersuchungsmethoden diente vor allem zur Erfassung des Ist-Zustandes nach dem Rutsch. Das Ziel war, auf diese Weise einen besseren Einblick in den komplexen Ablauf des Rutschvorganges zu gewinnen und dadurch auch die verbleibende Gefährdung besser abschätzen zu können. Es wurden dazu die folgenden Methoden eingesetzt:

- Begehungen des Rutschgebietes
- Auswertung von Fotos (Boden und Helikopter)
- Auswertung (z.T. stereoskopisch) und Vergleich von vor und nach dem Rutsch aufgenommenen Reihenfotos der eidgenössischen Landestopographie
- Vergleich einer fotogrammetrischen Vermessung des Rutschgebietes (Detailkurven-Karte) mit Detailkarten vor dem Rutsch
- Zusammenstellung und Auswertung der in der Messstation Flühli gemessenen täglichen Niederschlagsmengen im Sommer 1980 und ihr Vergleich mit den entsprechenden Werten im Sommer 1979.



Abb. 6: Hochgedrückte Masse M₂

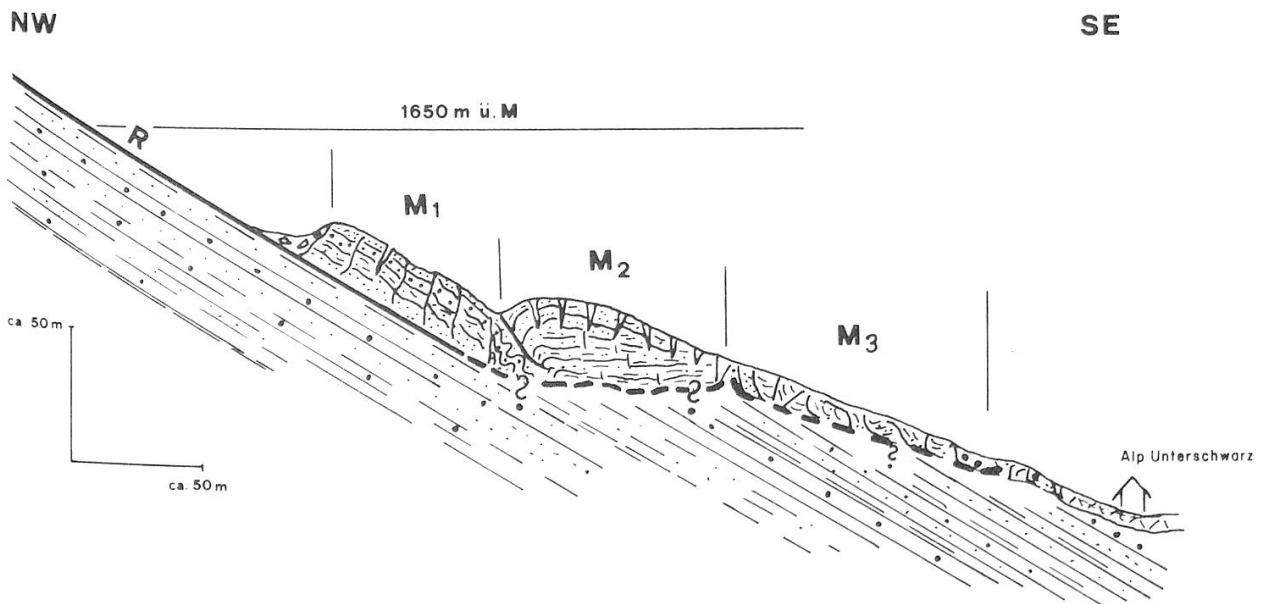


Fig.3: Hypothetischer Profilschnitt durch die Rutschmassen.

Eine weitere Gruppe von Massnahmen wurde zur Überwachung des Rutschgebietes eingesetzt. Dazu gehören:

- Versetzen, Einmessen und periodisches Nachmessen von Pflockreihen im Rutschgebiet
- Versetzen, Einmessen und periodisches Nachmessen von Pflockpaaren beidseits wichtiger Anrisse und Spalten im Rutschgebiet
- Versetzen, Einmessen und periodisches Nachmessen von speziellen Vermessungspunkten im Rutschgebiet durch das Vermessungsamt des Kantons Luzern
- Einsatz von sogenannten Distometermessungen im Bereich des oberen Nackentalles beim Abrissrand und in der Rutschfläche «R»
- Periodische Fotos verschiedener Teile der Rutschmasse und des Anrisses von markierten Punkten und in festgelegten Richtungen.

Weitere Sondierungen und Massnahmen wurden von der beratenden Kommission als wünschbar erachtet, in Anbetracht der sich in der zweiten Sommerhälfte konsolidierenden Lage und der hohen Kosten jedoch vorläufig zurückgestellt. Es waren dies:

- Abteufen einer Kernbohrung im mittleren Teil des Rutschgebietes zur Ermittlung der Lage der Gleitflächen und Einsatz eines Slope Indicators im fertigen Bohrloch zur Erfassung von tiefreichenden Rutsch- und Kriechbewegungen
- Abteufen von zwei Kernbohrungen unterhalb des mit Bergsturzmaterial überdeckten Areals, südöstlich des Trichters, um die Lage der Felsoberfläche festzustellen
- Einrichtung eines automatischen Warnsystems im Gebiet des Trichters, um Kriechbewegungen im Lockermaterial zu erfassen. Es waren zwei Verfahren vorgeschlagen worden: Ein Mess-System für Gletscherbewegung und ein System mit Geophonen, das die Erschütterungen der Bewegungen gemessen hätte und das durch Experten der ETH provisorisch installiert und mit Erfolg erprobt worden war.

10. ZUSAMMENFASSUNG DER MESSERGEBNISSE

10.1. Pflockreihenvermessung

Um die Rutschmassen oberhalb Unter Schwarzenberg in den ersten stark nebligen Tagen nach dem 22.6.80 einigermaßen kontrollieren zu können, wurden Pflockreihen geschlagen, die in kurzen Zeitabständen, in den ersten Tagen zweimal täglich, mit dem Messband gemessen wurden.

Es war von Anfang an klar, dass die Genauigkeit dieser Methode zu wünschen übrig liess, dass jedoch damit allfällige grössere Bewegungen der Rutschmasse gegenüber dem umliegenden Terrain oder deutliche Lageverschiebungen der Rutschmassen untereinander registriert werden könnten. Die ersten Pflockreihen wurden deshalb auch an der Front der Rutschmasse M_3 versetzt, um für das wenig hangabwärts gelegene Alpgebäude über eine Warnvorrichtung zu verfügen. Weitere Pflockreihen wurden daraufhin auf der Höhe des unterbrochenen Weges nach Ober Schwarzenberg sowie im Bereich der Massen M_1 und M_2 versetzt.

Bis zum Herbst 1980 wiesen die Pflöcke praktisch keine Bewegungen auf. Erste Nachmessungen im Frühsommer und Herbst 1981 zeigten bei einigen Punkten Lage-



Abb. 7: Blick von der Rutschfläche ins Tal

verschiebungen von max. 7 cm. Die Grössenordnung dieser Bewegungen stimmt gut mit den Resultaten der geodätischen Vermessung überein und vermittelt das Bild einer im wesentlichen zur Ruhe gekommenen Rutschmasse.

Obwohl die Pflöckreihenvermessung eine einfache, relativ ungenaue Methode ist, sollte sie beibehalten werden, denn bei einer plötzlichen Verschlimmerung der Situation kann dieses System auch bei Nacht und Nebel wertvolle Daten liefern.

10.2. Spalten- und Anrissvermessungen

Mit diesem System wurde versucht, mögliche Bewegungen an grossen Spalten und Anrissen im Rutschgebiet unter Kontrolle zu halten. Es wurde dabei so vorgegangen, dass der Abstand zwischen Pflöcken gemessen wurde, die beidseitig der zu kontrollierenden Spalte eingeschlagen wurden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die vermessenen Spalten praktisch keine Bewegungen aufwiesen. Die meisten Messpunkte mussten jedoch aufgegeben werden, weil die Spaltenränder zurückerodierten.

Als besonders kritische Stellen sind der Anriss im oberen Nackentälchen und mehrere markante Rückwitterungen im Bereich des Trichters zu nennen. In den ersten Wochen nach dem Bergrutsch wurde die südöstliche Trichterseite um ca. 15 m verbreitert. Etwas weniger stark fiel die Rückwitterung auf der nordwestlichen Trichterseite aus. Immerhin musste in diesem Bereich die Schutzzäune stark zurückgezäunt werden.

Bei länger anhaltendem Regen, heftigen Gewittern oder gar bei einem neuen Murgang ist im Bereich des Trichters mit weiteren zum Teil sehr starken Erosionen zu rechnen. Dasselbe gilt auch für die unverbauten Bachflanken zwischen Trichter und Rohrigmoos.

10.3. Geodätische Vermessungen

Das Vermessungsamt des Kantons Luzern versetzte im gesamten 29 Kontrollpunkte, die von nahe gelegenen Fixpunkten eingemessen wurden. Die Null-Messung konnte infolge der ungünstigen Witterung erst am 7.7.80 erfolgen. Laut Mitteilung des Vermessungsamtes muss bei diesen Messungen, bedingt durch das Instrument und das Fehlen von festen Einrichtungen auf den Fixpunkten, mit einem Lagefehler von ± 4 cm gerechnet werden.

Praktisch alle Messpunkte, welche ausserhalb der gerutschten Massen versetzt wurden, zeigen keine nennenswerten Bewegungen. Die auf den Massen M_1 , M_2 und M_3 liegenden Punkte zeigten im ersten Messintervall (7.7.80–14.7.80) beträchtliche Veränderungen hinsichtlich der negativen Höhendifferenz und der Horizontalverschiebung. So wurden auf der Masse M_1 innert 7 Tagen Maximalwerte von $\Delta L = 6$ cm und $\Delta h = -7$ cm registriert. Die weiteren Messintervalle zeigten jedoch eine deutliche Abnahme der Bewegungen, was generell für eine Konsolidierung der Massen M_1 , M_2 und M_3 spricht.

Betrachtet man die Summe der Bewegungen vom ersten bis zum vorläufig letzten Messintervall (467 Tage), so weist wiederum die Masse M_1 die grösste Bewegung auf: $\Delta L = 35$ cm, $\Delta h = -29$ cm. Demgegenüber wurden die Punkte auf den Massen M_2 und M_3 weniger stark bewegt. Aus der Tatsache, dass hier die horizontalen Lageveränderungen kleiner sind als die negativen Höhendifferenzen, könnte der Schluss gezogen werden, dass sich dieses Gebiet in einer Setzungsphase befindet. Da wir aber auf dem grossen Areal von M_2 und M_3 nur wenige Messpunkte zur Verfügung haben, dürfte diese Aussage streng genommen nur für den unmittelbaren Bereich um den Messpunkt herum zutreffen. Ausserdem weisen die Messpunkte sehr unterschiedliche Werte auf, was dafür spricht, dass sich die Massen M_2 und M_3 in eine Vielzahl von Untereinheiten gliedern, welche in Wechselwirkung zueinander ihre eigene Dynamik entwickeln.

Die geringen Lageveränderungen bewegen sich generell in Richtung Alp Unter-Schwarzenberg. Gewiss werden die randlichen (nordöstlichen) Partien von M_1 , M_2 und M_3 längs der oben beschriebenen Trennlinie des Spittelberglis Bewegungen in Richtung Trichter aufweisen und dementsprechend Material in diese Richtung abgeben.

Auf den Massen M_4 und M_5 konnten keine Vermessungspunkte gesetzt werden. Mit Sicherheit wird der Bewegungsvektor in Richtung Trichter weisen.

10.4. Distometermessungen

10.4.1. Messungen im Bereich des oberen Nackentälchens «N»

Die Felskuppe am seitlichen Abrissrand und das an die Abrissstelle angrenzende Nackentälchen «N» ist für weitere Bergrutsche stark gefährdet. Dies vor allem, da die seitliche (nordöstliche) Abstützung bei der Abrissstelle entfällt. Ausserdem liegen



Abb. 8: Rüfi unterhalb Alp Spittel



Abb. 9: Schuttkegel des ersten Murgangs bei Rorigmoos

hier dieselben topographischen und geologischen Verhältnisse vor wie vor dem Rutsch vom 22.6.80.

Zur Abwendung der ersten Gefahr wurde das Nackentälchen drainiert, um damit einen Grossteil des Meteorwassers von der Rutschfläche fernzuhalten. Zur Überwachung der Bewegungen wurden durch die Solexperts AG, Zürich, Distometermessungen durchgeführt. Mit diesem System können Messdifferenzen von 1/10 mm erfasst werden.

Die Messpunkte nahe der Abbruchkante im Bereich «N» zeigten von der Nullmessung an (23.7.80) bis zur Messung vom 2.6.81 eine konstante Bewegungsgeschwindigkeit von ca. 1 cm/Monat. Lokal waren auch Tendenzen zur Verlangsamung zu beobachten. In neuerer Zeit jedoch zeigen dieselben Punkte eine beschleunigte Bewegung (bis 1,5 cm/Monat). Falls dieser Trend anhält, muss mit neuen Niederbrüchen in dieser Region gerechnet werden. Da die Lage der Gleitfläche unbekannt ist, kann die Kubatur der sich in Bewegung befindlichen Masse nicht berechnet werden. Zu deren Ermittlung müssten Bohrungen und Slope-Indikatormessungen durchgeführt werden.

Die übrigen Messpunkte im SW-Teil des Nackentälchens weisen eine geringe, jedoch konstante Bewegungsgeschwindigkeit auf (ca. 1 mm/Monat). Eine unmittelbare Gefährdung dieser Region ist momentan nicht gegeben.

10.4.2. Messungen im Bereich der Rutschfläche «R»

Anlässlich einer Begehung im Frühjahr 1981 wurden knapp hinter der Masse M_1 in der freigelegten Rutschfläche mehr oder weniger parallele, \pm N-S verlaufende Risse und Spalten grösseren Ausmasses entdeckt. Die Spalten sind bis 50 cm geöffnet und weisen einen messbaren Tiefgang von ca. 1,1 m auf. Die Sohle wird durch Lokermaterial gebildet, so dass der wirkliche Tiefgang den gemessenen Betrag wahrscheinlich übertrifft. Die sichtbare Längserstreckung der Spalten beträgt ca. 15 m.

Die neu entdeckten Spalten in der bis zum Herbst 1980 intakten Rutschfläche «R» zeigen an, dass in den unter dieser Rutschfläche liegenden Gesteinsschichten deutliche Bewegungen im Gange sind. Noch unklar ist, welchen Tiefgang diese neuen Bewegungen aufweisen, d.h. in welcher Tiefe unter der bisherigen Rutschfläche «R» sich der neue Bewegungshorizont bildet. Aufgrund von Schätzungen wird angenommen, dass der durch die Spalten aufgerissene Mergelfels im Liegenden von «R» eine Mächtigkeit von 2–5 m aufweisen kann. Darunter folgt eine Nagelfluh-Sandsteinbank von ca. 10 m, unter welcher wieder Mergelfels ansteht.

Für die Lage der neuen Bewegungsfläche gibt es generell zwei Möglichkeiten:

- a) Im Mergelfels über der Nagelfluh-Sandsteinbank
- b) An der Basis der Nagelfluh-Sandsteinbank (Grenze zum liegenden Mergelfels)

In beiden Fällen sickert durch die neu entstandenen Spalten Meteorwasser unter die bisherige Rutschfläche «R» und erhöht im Bereich des neuen Bewegungshorizontes den Porenwasserdruck, was die Sicherheit gegen ein Abgleiten massgeblich vermindert (vgl. Kapitel 4. «Ursachen des Rutsches»).

Im Falle a) würde sich eine relativ geringe Kubatur in Bewegung setzen und sich an die Masse M_1 anlagern. Nachrutschungen aus höheren Hangpartien wären unvermeidlich.

Im Falle b) würden Kubaturen freigesetzt, die mit denjenigen des bisherigen Bergsturzmaterials vergleichbar wären. Die neuen Rutschmassen könnten unter Umständen M_1 , M_2 und M_3 reaktivieren oder auch, je nach Lage des potentiellen Abrissrandes, zur Hauptsache in Richtung Trichter stürzen.

In der Folge galt es nun, die Oberflächenwasser durch Umleitung in Gräben von diesen Spalten fernzuhalten. Ausserdem wurde auf der Rutschfläche «R» in Fallrichtung ein Netz von Distometermessungen erstellt, um die Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung exakt erfassen zu können.

Im ersten Messintervall vom 24.9.81 bis 3.11.81 wiesen die beiden Messpunkte unterhalb der Risse eine Bewegung von 58,7 mm und 49,1 mm auf. Dies ergibt eine tägliche Bewegungsrate von 1,46 mm bzw. 1,22 mm. Unter Annahme, dass diese Bewegungsgrössen konstant bleiben, würden sich die Spalten in einem Jahr um ca. 0,5 m erweitern. Es ist zu hoffen, dass sich diese theoretischen Überlegungen durch weitere Messwerte im Frühjahr 1982 als falsch erweisen.

11. BEURTEILUNG DER WEITEREN GEFÄHRDUNG

- Die bisherigen bis zum Herbst 1981 registrierten Messwerte deuten darauf hin, dass die am 22.6.80 abgeglittene Rutschmasse im wesentlichen vorläufig zur Ruhe gekommen ist. Das schliesst nicht aus, dass in einzelnen Teilen des Rutschgebietes noch Veränderungen möglich sind.
- Besonders gefährdete Stellen sind die Anrissstellen beim Nackental «N» sowie die stark erosionsgefährdeten Stellen beim Trichter.
- Eine weitere Gefahrensituation ist durch die neuen Risse oberhalb M_1 in der Rutschfläche entstanden. Die Dimension der Gefährdung kann erst nach weiteren Kontrollmessungen im Frühjahr und Sommer 1982 genau erfasst werden.

12. SCHLUSSWORT

Der Beichlen Südhang war seit seinem Bestehen durch Bergrutsche und Bergstürze erodiert worden. Das Ereignis vom 20.6.80 gab uns einen Einblick in diesen Jahrmillionen andauernden Prozess. Es ist klar, dass auch zukünftige Rutsche in diesem Gebiet kaum zurückgehalten werden können. Doch ganz machtlos sind wir diesen Naturgewalten nicht ausgeliefert, da sie uns nicht von einem Tag auf den andern überraschen. Anhand der Rekonstruktion des Rutschablaufes haben wir erkannt, dass sich das Ereignis schon viele Jahre im voraus durch Spaltenbildung angekündigt hat. Mit relativ einfachen Mitteln können Bewegungsintensitäten gemessen und bei kritischen Situationen Vorwarnungen gegeben werden. Zudem kann in manchen Fällen durch geeignete Wasserführung (Drainage von Nackentälchen, Umfliessen von grösseren Spalten) sowie durch gezielte Aufforstung die Rutschgefahr um mehrere Jahre oder Jahrzehnte verzögert werden.

