

Zeitschrift: Bulletin für angewandte Geologie

Herausgeber: Schweizerische Vereinigung der Petroleum-Geologen und –Ingenieure; Schweizerische Fachgruppe für Ingenieur-Geologie

Band: 5 (2000)

Heft: 1

Artikel: Ursachenanalyse der Hanginstabilitäten 1999

Autor: Furrer, C. / Bollinger, D. / Hegg, C.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-222274>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 26.01.2026

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

URSACHENANALYSE DER HANGINSTABILITÄTEN 1999

ARBEITSGRUPPE GEOLOGIE UND NATURGEFAHREN (AGN)

CH. FURRER, Bundesamt für Wasser und Geologie: Geleitwort

Teil A: Allgemeiner Teil

D. BOLLINGER, CH. HEGG, H.R. KEUSEN & O. LATELTIN: Ursachenanalyse der Hanginstabilitäten 1999:

1. Einleitung, Introduction, Introduzione
2. Die Witterungsverhältnisse 1998/1999
3. Zeitliche und räumliche Verteilung der Hanginstabilitäten 1999
4. Aspekte der Hangstabilität
5. Massenbewegungen 1999
6. Die besonderen Ursachen der Hanginstabilitäten von 1999
7. Folgerungen

Teil B: Fallbeispiele

1. P. TULLEN: Glissement de la Chenolette (Bex-Les Plans, VD).
2. G. FRANCIOSI & P. TULLEN: Instabilité de terrain d'Itrouvé (Chamoson, VS).
3. H. RAETZO, H.R. KEUSEN & D. OSWALD: Rutschgebiet Hohberg-Rohr (Plaffeien, FR).
4. K. GRAF & H.R. KEUSEN: Rutschung und Murgang Blachti - Stigelschwand (Adelboden, BE).
5. H.R. KEUSEN: Rutschung Gryfenbach (Lauterbrunnen, BE).
6. M. EBERHARD: Hanginstabilitäten am Hinter Königstein (Küttigen, AG).
7. M. LINIGER: Rutschung und Murgänge Laui (Sörenberg, LU).
8. R. OTTIGER, U. GRUNER & D. BOLLINGER: Felssturzgefahr Chapt - Blattenalp (Innertkirchen, BE).
9. N. SIEBER: Rutschungen am Uetliberg (Stallikon, ZH).
10. D. BOLLINGER & R. MURER: A2 - Lehnenviadukt Beckenried, Hanginstabilitäten Ischenwald (Beckenried, NW).
11. K. LOUIS-MEIER & J. SEILER: Die Rutschung Glöcheret (Attinghausen, UR).
12. U. THALI & D. BOLLINGER: Hangmuren Golzern im Maderanertal (Silenen, UR).
13. S. FRANK & M. ZIMMERMANN: Rutschung "Bätschen", Murgänge in der Wüechtenrus (Braunwald und Rüti, GL).
14. S. LIENER: Rutschung Flyalp und ihre Auswirkungen auf den Flybach (Weesen, SG).
15. P. KLEBOTH: Felsrutschung Wintersberg (Ebnat-Kappel, SG).

Geleitwort

Die Landeshydrologie und -geologie (LHG) des Bundesamtes für Wasser und Geologie (BWG) als Fachstelle des Bundes befasst sich unter anderem mit geologischen Risiken darunter auch mit dem Themenkomplex der Ursachen von Massenbewegungen (Rutschungen, Sturzprozesse und Hangmuren). Dabei wird der Beeinflussung von Hanginstabilitäten durch standortspezifische Gegebenheiten aufgrund lokaler geologischer Verhältnisse besondere Beachtung geschenkt.

Da der Schnee von "gestern" zum Wasserabfluss von "morgen" beiträgt, wurden schon Ende Februar 1999 Befürchtungen geäussert, dass der folgende Frühling/Frühsommer grosse Hochwasser und viele Rutschungen mit sich bringen könnte. Als direkte Folge der starken Niederschläge im Februar und Mai gingen im Mittelland und in den Gebirgskantonen mehr als 350 Rutschungen und Hangmuren nieder. Der Anteil der Schäden aus Rutschungen und Hangmuren an den gesamten Wasserschäden 1999 (ca. 700 Millionen Franken) liegt etwa zwischen 10 bis 15 Prozent.

Das Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG) und die Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren (AGN) wollen mit der vorliegenden Publikation einen Beitrag zur Ursachenanalyse der Hanginstabilitäten des Jahres 1999 liefern. Was ist geschehen und wie sind die Rutschungen und Hangmuren vom Frühjahr und Frühsommer 1999 aus statistischer Sicht einzuordnen? In Ergänzung zu diesem Bericht, der vor allem die Hanginstabilitäten analysiert, werden durch das Bundesamt für Wasser und Geologie zwei weitere Berichte zu den Hochwassern 1999 herausgegeben (BWG 2000a, BWG 2000b).

Der vorliegende Bericht ist das Ergebnis einer Zusammenarbeit zwischen dem Bundesamt für Wasser und Geologie, der Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren (AGN), der Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf und verschiedenen privaten Geologie- und Ingenieurbüros. Verfasser der Schrift sind Mitglieder der Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren (AGN) sowie Christoph Hegg von der WSL. Einen massgebenden finanziellen Beitrag an die Druckkosten hat die Nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT) geleistet, der an dieser Stelle für ihre Unterstützung herzlich gedankt sei.

Bundesamt für Wasser und Geologie
Der Direktor

CH. FURRER

Ursachenanalyse der Hanginstabilitäten 1999

mit 15 Figuren und 1 Tabelle

D. BOLLINGER¹⁾, CH. HEGG²⁾, H.R. KEUSEN³⁾ & O. LATELTIN⁴⁾

1. Einleitung

Auf eine an "Naturkatastrophen" relativ arme Zeitperiode (1994–1998) folgend, wird das Jahr 1999 in der Schweiz umso eindrücklicher in Erinnerung bleiben. Durch Lawinen, Überschwemmungen, Rutschungen, Hangmuren, Hagel und Sturm waren in der Schweiz zahlreiche Todesopfer zu beklagen und es traten schwerwiegende Schäden auf. Drei aufeinander folgende Phasen mit starken Niederschlägen (26.–29. Januar, 6.–12. Februar und 16.–25. Februar) haben in den höheren Lagen der Schweizer Alpen innert 30 Tagen zu Neuschneemengen von weit über 5 m geführt. 1200 Schadenlawinen waren die Folge. 17 Personen verloren dabei ihr Leben. Die materiellen Schäden der Lawinen 1999 an Gebäuden, an Verkehrswegen, an Schutzbauten und am Schutzwald sowie indirekte Schäden beliefen sich auf über 600 Millionen Franken.

Da der Schnee von "gestern" zum Wasserabfluss von "morgen" beiträgt, wurden schon Ende Februar 1999 Befürchtungen geäussert, dass der folgende Frühling/Frühsommer grosse Hochwasser und Rutschungen mit sich bringen könnte. Begleitet von starker Schneeschmelze liessen zwei Phasen mit intensiven Niederschlägen (11.–12. Mai und 21.–22. Mai), die Seen des Schweizerischen Mittellandes und des Alpenvorlandes über die Ufer treten. Dabei traten grosse Schäden auf, namentlich in Thun, Bern und in der Bodenseeregion. Die Gesamtheit der Hochwasserschäden in Jahr 1999 belief sich auf 700 Millionen Franken, wobei der private Sektor am stärksten betroffen war. Vier Personen fanden durch die Hochwasser und Hanginstabilitäten den Tod.

Als direkte Folge der starken Niederschläge im Februar und Mai gingen mehr als 350 Rutschungen nieder, vorwiegend in den Kantonen Aargau, Basel-Land, Bern, Glarus, Luzern, Nidwalden, Obwalden, Schwyz, Solothurn, St. Gallen, Uri und Zürich. Der Anteil der Rutschungen an den gesamten Hochwasserschäden liegt etwa im langjährigen Mittel von 10 bis 15 % (ca. 60 bis 75 Millionen Franken).

Der Sommer 1999 war auch sehr gewitterhaft. Zahlreiche starke Gewitterzellen entluden sich über der Schweiz. So hat am 5. Juli ein starkes Hagelereignis im Schweizer Mittelland, insbesondere in der Region Bösingen – Laupen (15 km nördlich von Freiburg), grosse Gebäudeschäden verursacht (ca 100 Millionen Franken).

¹⁾ Kellerhals + Haefeli AG, Kapellenstrasse 22, 3011 Bern

²⁾ Eidg. Forschungsanstalt WSL, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf

³⁾ Geotest AG, Birkenstrasse 15, 3052 Zollikofen

⁴⁾ Bundesamt für Wasser und Geologie BWG, Ländtestrasse 20, 2501 Biel

Nach dem Wintersturm "Vivian" vom Februar 1990, welcher noch heute im Gedächtnis der Menschen ist, hat "Lothar" am 26. und 27. Dezember erneut gezeigt, welche Zerstörungskraft Sturmwinde haben können. 17 Millionen Bäume wurden entwurzelt oder geknickt (13 Millionen Kubikmeter Sturmholz) und 11 Menschen haben in der Schweiz während dem Sturm ihr Leben verloren. Die am meisten betroffenen Kantone waren Bern, Freiburg, Luzern, Nidwalden, Obwalden und Schwyz.

Die vorliegende Dokumentation gibt eine Analyse der Hanginstabilitäten des Jahres 1999 in der Schweiz, illustriert anhand einer Auswahl von 15 repräsentativen Fallbeispiele von Massenbewegungen (Rutschungen, Hangmuren und Sturzprozesse). Die Orte der Fallbeispiele sind in einer geologischen Übersicht (Fig. 1) und Tabelle 1 dargestellt. Für die einzelnen Fallbeispiele sind die jeweiligen Autoren verantwortlich.

1. Introduction

Après une période d'accalmie (1994–1998), l'année 1999 restera profondément gravée dans les mémoires de la population suisse au vu des catastrophes naturelles qui se sont produites sur l'ensemble du territoire. En effet, les inondations, les glissements de terrain, la grêle et les tempêtes ont coûté la vie à de nombreuses personnes et ont causé des dégâts matériels importants. Trois périodes successives ont été marquées par de fortes précipitations (26–29 janvier, 6–12 février et 16–25 février), responsables d'une augmentation rapide de la couche de neige dans les Alpes suisses (plus de 5 mètres en l'espace de 30 jours). C'est cet enneigement particulièrement important qui est responsable des 1200 avalanches dans lesquelles 17 personnes ont perdu la vie. Quant aux dégâts matériels causés aux bâtiments, aux voies de circulation, aux ouvrages de protection et aux forêts protectrices, ils se montent à plus de 600 millions de francs (dommages indirects compris).

Dès la fin du mois de février 1999, cette situation laissait présager de hautes eaux et des glissements de terrain pour le printemps et le début de l'été. Ces craintes furent fondées car la fonte des neiges associée à deux périodes de précipitations particulièrement intenses (11–12 mai et 21–22 mai) provoqua l'inondation des rives des lacs du Plateau et du versant nord des Alpes. D'importants dégâts dus aux crues ont été occasionnés notamment à Thoune, à Berne et dans la région du lac de Constance; ils se sont montés à 700 millions de francs; le secteur privé ayant été le plus sévèrement touché. L'instabilité des versants et les crues ont causé la mort de quatre personnes.

Les intempéries des mois de février et mai ont occasionné 350 glissements de terrain, notamment dans les cantons suivants: Argovie, Bâle-Campagne, Berne, Glaris, Lucerne, Nidwald, Obwald, Schwyz, Soleure, St-Gall, Uri et Zurich. La part de ces glissements dans l'ensemble des dégâts dus aux crues se situe dans la moyenne pluriannuelle, soit 10 à 15 pour cent (60 à 75 millions de francs).

L'été 1999 a également été très orageux et des foyers d'orages violents ont traversé l'ensemble du territoire. Ainsi, le 5 juillet, une forte grêle a occasionné d'importants dégâts sur le Plateau, notamment dans le secteur de Bösigen – Laupen (15 kilomètres au nord de Fribourg); les dégâts s'élèvent à 100 millions de francs.

Nr.	Ort	Lokalität	Koordinaten	Datum	Prozesse	Höhe ü.M. Anriß	Volumen m ³	Bemerkungen
1	Bex-Les Plans (VD)	Chenolette	569'150/123'600	4. März	Rutschung	678	500'000	Kantonsstrasse gesperrt
2	Chamossion (VS)	Itrivoué	581'000/117'500	Ende April	Rutschung Murgänge	1100	200'000	Reaktivierung von Rutschung Umweltschäden (Bach)
3	Plaffeien (FR)	Hohberg	589'520/160'870	März–Juni	Rutschung	1140	30'000'000	Reaktivierung von Rutschung 4 Häuser beschädigt
4	Adelboden (BE)	Stigelschwand	607'100/149'000	6. Mai	Rutschung Hangmure	1800	10'000'000	Reaktivierung von Rutschung Quartier und Strasse beschädigt
5	Lauterbrunnen (BE)	Gryfenbach	635'000/161'000	Mai	Rutschung	1700	15'000'000	Dorf, Bahn und Kantonsstrasse gefährdet
6	Küttigen (AG)	Hinter Königstein	644'325/252'700	23. / 24. Februar	Rutschung, Fels- sturz, Murgänge	710	150'000	Umweltschäden, Siedlung und Kantonsstrasse gefährdet
7	Sörenberg (LU)	Nünalpstock	647'090/186'790	14. Mai	Rutschung Murgänge	1700	200'000	Quartier und Strasse beschädigt
8	Innertkirchen (BE)	Blattenalp	662'500/171'550	Mai	Pot. Felsrutsch	1600	250'000	Grimmelsstrasse und Hochspan- nungsleitungen gefährdet
9	Stallikon (ZH)	Uetlibergkette	679'170/244'930	13. Mai	Rutschungen und Hangmure	750	Mehrere Strasse und 2 Häuser beschädigt	
10	Beckenried (NW)	Ischenwald	680'400/201'100	22. Febr. 8. Juni	Hangmure, Rutschungen	900	1000'000	Mehrere Kantonsstrasse gesperrt, Viadukt A2 gefährdet
11	Attinghausen (UR)	Glöcheret	689'150/190'150	Ende Mai	Rutschung	1430	500'000	Reaktivierung von Rutschung Umweltschäden
12	Silenen (UR)	Golzern	697'950/181'100	22. Mai	Hangmure	1340	5'000	1 Todesopfer, Gebäude zerstört, Umweltschäden
13	Braunwald (GL)	Bätschen	719'150/200'000	23. Febr. März–Mai	Rutschung Murgänge	1200	30'000	Quartier beschädigt
14	Weesen (SG)	Flywald	727'000/224'000	23. Mai	Rutschung Murgänge	1100	100'000	400 Einwohner evakuiert, 3 Häuser und Strasse beschädigt
15	Ebnat Kappel (SG)	Wintersberg	730'180/235'500	Mai	Rutschung	1080	3'000'000	Reaktivierung von Rutschung Häuser und Strasse beschädigt

Tab.1: Dargestellte Fallbeispiele von Massenbewegungen im Jahre 1999.

Après le passage de l'ouragan "Vivian" au mois de février 1990, l'ouragan "Lothar" a balayé le territoire suisse les 26 et 27 décembre 1999. 17 millions d'arbres ont été déracinés ou cassés (13 millions de mètres cubes de bois) et 11 personnes tuées. Les cantons de Berne, Fribourg, Lucerne, Nidwald, Obwald et Schwyz ont été particulièrement touchés.

La documentation ci-jointe propose une analyse de l'instabilité de différents versants relevée en Suisse l'année dernière. Elle est illustrée par 15 cas concrets de mouvements de terrain (glissements, coulées de terre et processus d'éboulement). Les différents emplacements géographiques sont représentés sur une carte géologique (fig. 1) et dans le tableau 1. Les auteurs sont responsables des différentes études de cas.

1. Introduzione

L'anno 1999, seguito a un periodo di tempo (1994–1998) meno colpito da catastrofi naturali, rimarrà fortemente impresso nella memoria della popolazione svizzera. Quell'anno, infatti, è stato caratterizzato da valanghe, inondazioni, smottamenti di terreno, colate di fango, grandine e da un uragano, fenomeni che hanno causato numerose vittime e ingenti danni nel nostro Paese. Le forti precipitazioni registrate durante tre periodi successivi (26–29 gennaio, 6–12 febbraio e 16–25 febbraio) hanno fatto sì che, nel giro di 30 giorni, le regioni più elevate dell'arco alpino fossero ricoperte da uno strato nevoso dello spessore di ben oltre 5 m. Nelle 1200 valanghe scese a valle durante il 1999 hanno perso la vita 17 persone; i danni agli edifici, alle vie di comunicazione, alle strutture e ai boschi di protezione, nonché i danni indiretti, hanno generato costi superiori ai 600 milioni di franchi.

Poiché il deflusso dell'acqua in primavera è strettamente legato al volume di neve caduta durante l'inverno, nel 1999 già in febbraio si temevano forti piene e smottamenti del terreno per i mesi successivi. Nei giorni 11–12 maggio e 21–22 maggio, le incessanti piogge accompagnate da una fase di intenso scioglimento delle nevi hanno provocato l'inondazione delle rive dei laghi del Plateau svizzero e del versante nord delle Alpi. Il fenomeno ha causato ingenti danni soprattutto a Thun, Berna e nella regione del lago di Costanza; i relativi costi, in gran parte a carico del settore privato, si sono elevati a un totale di 700 milioni di franchi. Quattro persone hanno perso la vita a causa delle piene e delle instabilità dei versanti.

A seguito delle forti precipitazioni intervenute in febbraio e maggio, sono stati registrati più di 350 casi di smottamenti di terreno, in particolare nei Cantoni di Argovia, Basilea Campagna, Berna, Glarona, Lucerna, Nidvaldo, Obvaldo, Svitto, Solutta, San Gallo, Uri e Zurigo. Il 10–15 per cento dei danni complessivi dovuti alle piene (ca. 60–75 milioni di franchi) era riconducibile a smottamenti di terreno; tale valore rientra nella media annuale a lungo termine.

L'estate 1999 è stata caratterizzata in Svizzera da numerosi e intensi temporali. Sul Plateau, in particolare nella regione di Bösingen – Laupen (15 km a nord di Friburgo), il 5 luglio una forte grandinata ha provocato danni agli edifici per un totale di circa 100 milioni di franchi.

Dopo l'uragano "Vivian" (febbraio 1990), ancora vivo nella memoria della popolazione svizzera, nei giorni 26 e 27 dicembre 1999 ha infuriato l'uragano "Lothar",

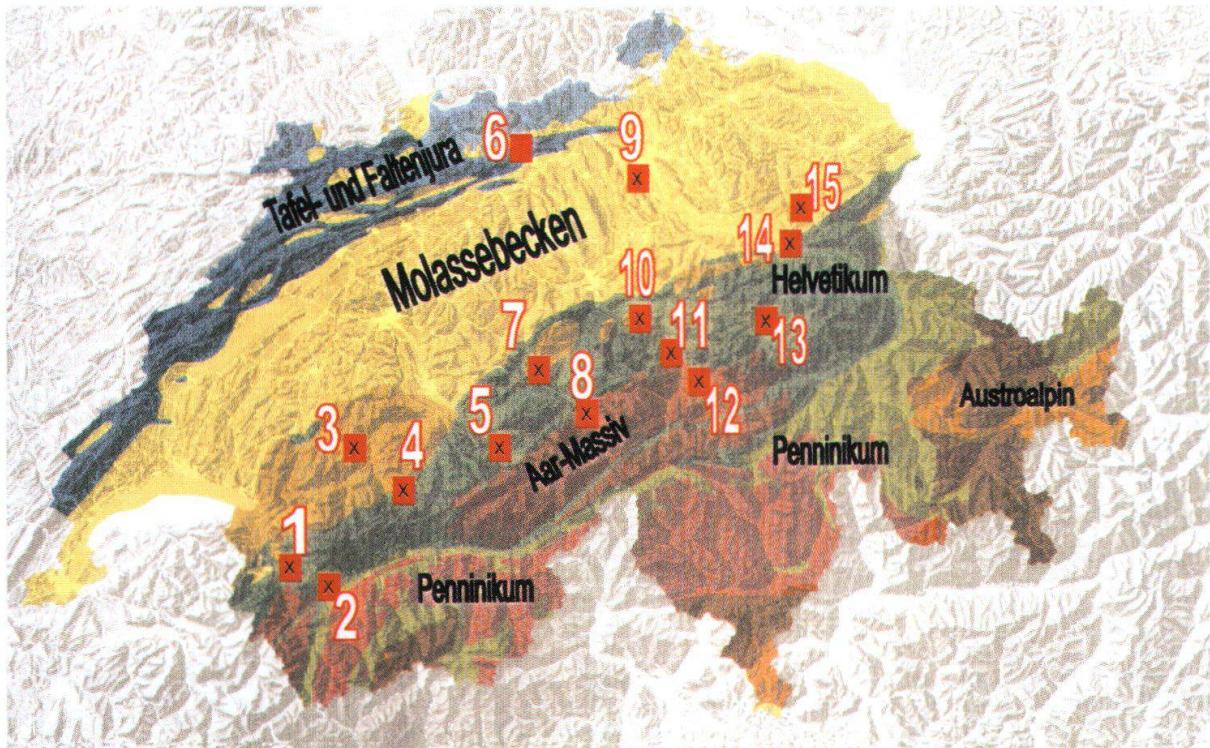


Fig. 1: Tektonische Karte der Schweiz mit Lage der Fallbeispiele (Quelle LHG/BWG ©)

mostrando ancora una volta quale forza distruttrice possa generare una violenta tempesta di vento. In quei giorni sono stati divelti o spezzati 17 milioni di alberi, lasciando al suolo 13 milioni di metri cubi di legname, e 11 persone hanno perso la vita. I Cantoni maggiormente colpiti sono stati Berna, Friburgo, Lucerna, Nidvaldo, Obvaldo e Svitto.

Sulla base di un campione rappresentativo di 15 casi riguardanti movimenti di massa (smottamenti, colate di fango, processi di crollo), la presente documentazione riporta un'analisi delle instabilità dei versanti rilevate in Svizzera nel 1999. Le località interessate sono raffigurate in una carta sinottica geologica (fig. 1) e nella tabella 1. Per i singoli esempi sono responsabili i rispettivi autori.

2. Die Witterungsverhältnisse 1998/1999

Das Jahr 1999 war durch ausserordentliche Ereignisse geprägt. Besonders in Erinnerung bleiben die enormen Schneefälle und Lawinen in den Alpen zwischen dem 26. Januar und dem 24. Februar, die Hochwasser im Mai in der Deutschschweiz und der Sturm "Lothar", der am Stefanstag über die Schweiz fegte. Eine ausführliche Beschreibung und Analyse des Lawinenwinters 1999 liegt in SLF (2000) vor. Die Ursachen und Auswirkungen der Mai-Hochwasser werden in BWG (2000a), Hegg et al. (2000) und BWG (2000b) detaillierter analysiert. Die nachfolgenden chronologischen Erläuterungen zum Witterungsverlauf und zur Entwicklung der wesentlichen Auslöser von Rutschungen basieren zu wesentlichen Teilen auf den in dieser Studie durchgeführten Arbeiten.

Der Januar 1999 war im Mittel zu warm und zu trocken. Gegen Ende dieses Monats wurde die Schweiz von einer ersten Welle von ergiebigen Schneefällen erfasst. Eine zweite folgte vom 5. – 10. Februar und die dritte vom 17. – 24. Februar. Teilweise fielen über 5 m Neuschnee, in Braunwald auf 1330 m ü.M. waren es sogar 7.23 m. Die Folge der aussergewöhnlichen Schneefälle war eine grossräumige, sehr intensive Lawinenaktivität, welche vom 20. bis zum 23. Februar 1999 ihren Höhepunkt erreichte. Gesamthaft sind in den Schweizer Alpen im Winter 1998/99 rund 1200 Schadenlawinen niedergegangen. Die Schneefälle führten am Alpennordhang verbreitet zu einer mächtigen Schneedecke, in der mit einem Wasseräquivalenzwert von meist über 600 mm überdurchschnittliche Wassermengen gespeichert wurden. Wie aus Fig. 2 hervorgeht sind solche Wasseräquivalente zwar hoch, aber nicht ausserordentlich. So liegen auch die Jährlichkeiten des maximalen Schneewasseräquivalents bei den meisten Messstationen des Eidg. Instituts für Schnee- und Lawinenforschung in der Regel im Bereich von maximal 10–15 Jahren.

Nach den Schneefällen vom 9.–10. Februar lag im Mittelland der Deutschschweiz eine kompakte Schneedecke. Der landesweite leichte Anstieg der Schneefallgrenze und die teils heftigen Regenfälle vom 19. bis 21. Februar führten in vielen Gebieten zusammen mit der grossen Menge Schmelzwasser zu Hanginstabilitäten und lokalen Überschwemmungen. Gesamthaft entstanden dadurch Schäden von gegen 40 Millionen Franken. Besonders kritisch war die Lage in der Nordwestschweiz. Grosse Schäden entstanden in den Kantonen Aargau und Basel-Land, wo sich aufgrund der hohen Sättigung der Böden zahlreiche Rutschungen und Hangmuren ereigneten. Im Mittelland trugen die Schneeschmelze und die Niederschläge je etwa 50 % zum gesamten Abfluss bei.

Der März war generell zu warm, was vor allem in Lagen bis gegen 1500 m ü.M. eine erste Schneeschmelzphase auslöste. Das dabei anfallende Schmelzwasser löste an

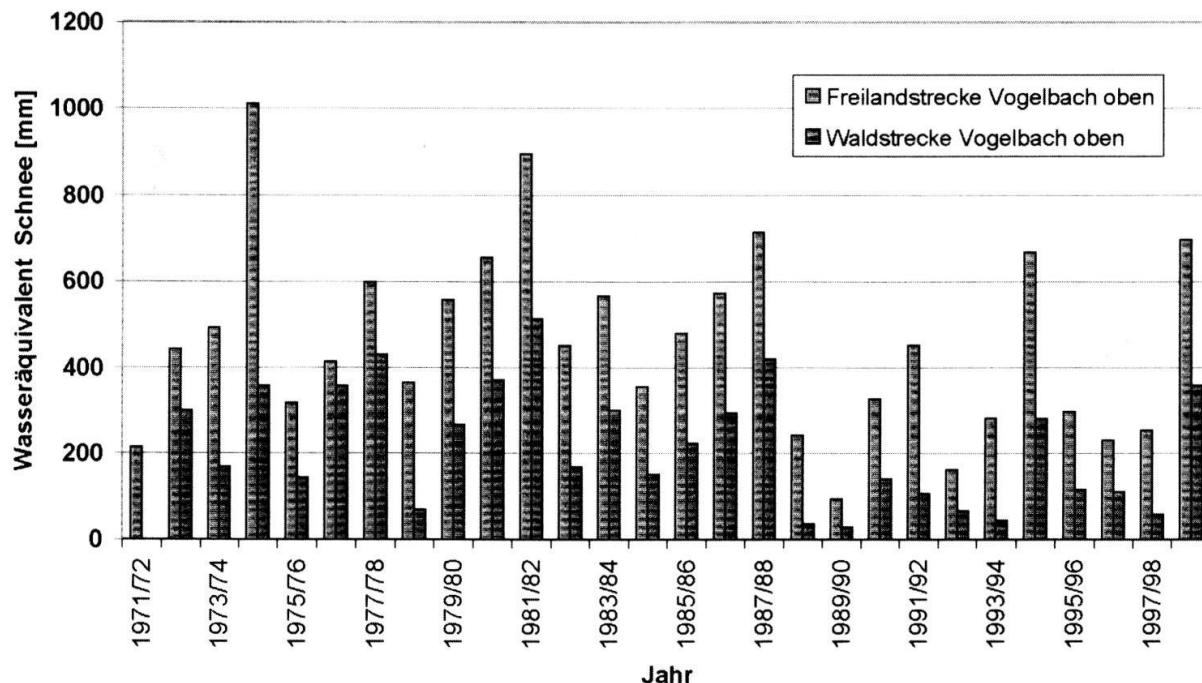


Fig. 2: Die jährlichen maximalen Schneewasseräquivalente im Testgebiet Vogelbach im Alptal (SZ) der Eidg. Forschungsanstalt WSL.

verschiedenen Stellen kleinere und grössere Rutschungen und Hangmuren aus, wobei hier vor allem das Ereignis von Rüti-Braunwald (Fallbeispiel Nr. 13) zu erwähnen ist.

Der April 1999 war deutlich zu nass und anfangs zu warm. Dann folgte eine nas-skalte Zwischenperiode, welche etwa ab dem 25. April durch eine feuchtwarme und gewittrige Phase abgelöst wurde. Die generell feuchte Witterung und die ab Ende des Monats verstärkt einsetzende Schneeschmelze sättigte vielerorts die Böden stark, was wiederum verschiedene grössere und kleinere Rutschungen zur Folge hatte.

Das feuchtwarme Wetter setzte sich zu Beginn des Monats Mai fort. Ab dem 11. Mai kam eine in West-Ost Richtung langgestreckte Luftmassengrenze über der Alpen-nordseite zu liegen, welche der Nordostschweiz über viele Stunden intensive Niederschläge brachte. So wurden an 12. Mai im Raum Gösgen – Zürichsee – St. Gallen – Alpstein verbreitet über 100 mm Niederschlag erreicht. Während der ganzen Niederschlagsperiode vom 11.–15. Mai fielen in der Ostschweiz teilweise deutlich mehr als 200 mm Niederschlag und auch im Berner Oberland wurden verbreitet Werte von über 100 mm festgestellt (vgl. Fig. 3). Die maximalen 24-Stunden-Niederschläge sind wohl beachtlich aber nicht aussergewöhnlich. Mit vergleichbaren Niederschlägen muss in der Nordwestschweiz etwa alle 10 Jahre gerechnet werden. Erst für längere Niederschlagsdauern nimmt die Seltenheit zu, um für den 72-Stunden-Niederschlag etwa eine Jährlichkeit von 25 Jahren zu erreichen.

Die ergiebigen Niederschläge führten zusammen mit der fortschreitenden Schneeschmelze zu einem sehr hohen Wasseranfall in vielen Einzugsgebieten. Dieser lag im Thurgebiet verbreitet über 200 mm und auch im Berner Oberland in der Regel nahe bei 150 mm in 5 Tagen. Aufgrund der grossen Vorfeuchte gelangte ein grosser Teil davon zum Abfluss und führte zu den zahlreichen Hochwasserereignissen entlang der grossen Flüsse und Seen. Zudem kam es zu einer verstärkten Sättigung der Böden, was sich in einer grossen Zahl von Ereignissen (Rutschungen, Hangmuren, Murgänge) auswirkte. Der Schneeanteil am gesamten Wasseranfall (Niederschlag + Schneeschmelze) machte dabei im Einzugsgebiet der Thur nur wenige Prozent aus und lag im Einzugsgebiet des Thunersees zwischen 20 und 30 %.

Etwa eine Woche später zwischen dem 20.–22. Mai 1999 wurde die Schweiz von einer zweiten Starkniederschlagszone erfasst. Der Schwerpunkt lag dieses Mal in der Region Walensee und die maximalen 24-Stunden-Niederschläge lagen im Bereich von 200 mm (vgl. Fig. 4). Entsprechend ist auch die Eintretenswahrscheinlichkeit dieses Niederschlagsereignisses etwas kleiner als jene des Ereignisses vom 11.–15. Mai. Im Gegensatz zum ersten Ereignis nahmen die Niederschlagssummen für längere Dauern nur noch unwesentlich zu. Auch dieses zweite Niederschlagsereignis führte zu erheblichen Abflüssen, zu einer fortschreitenden Sättigung der Böden und verbreitete zu einer grossen Anzahl von Hanginstabilitäten. Da die Nullgradgrenze deutlich absank und die Schneeschmelze entsprechend zurück ging, betrug der Anteil aus der Schneeschmelze nur noch wenige Prozent.

Im Sommer 1999 ereigneten sich in den Monaten Juni, Juli und August einige heftige Sommergewitter (teilweise mit Hagelschlag), welche weitere Hochwasser und Rutschungen auslösten. So verursachte z.B. am 2. Juni ein intensiver Hagel- und Gewittersturm im Mittelland massive Schäden. Am 5. Juli folgten schwere Hagelschläge in der West- und Nordwestschweiz, wobei vor allem Gebiete in den Kanto-

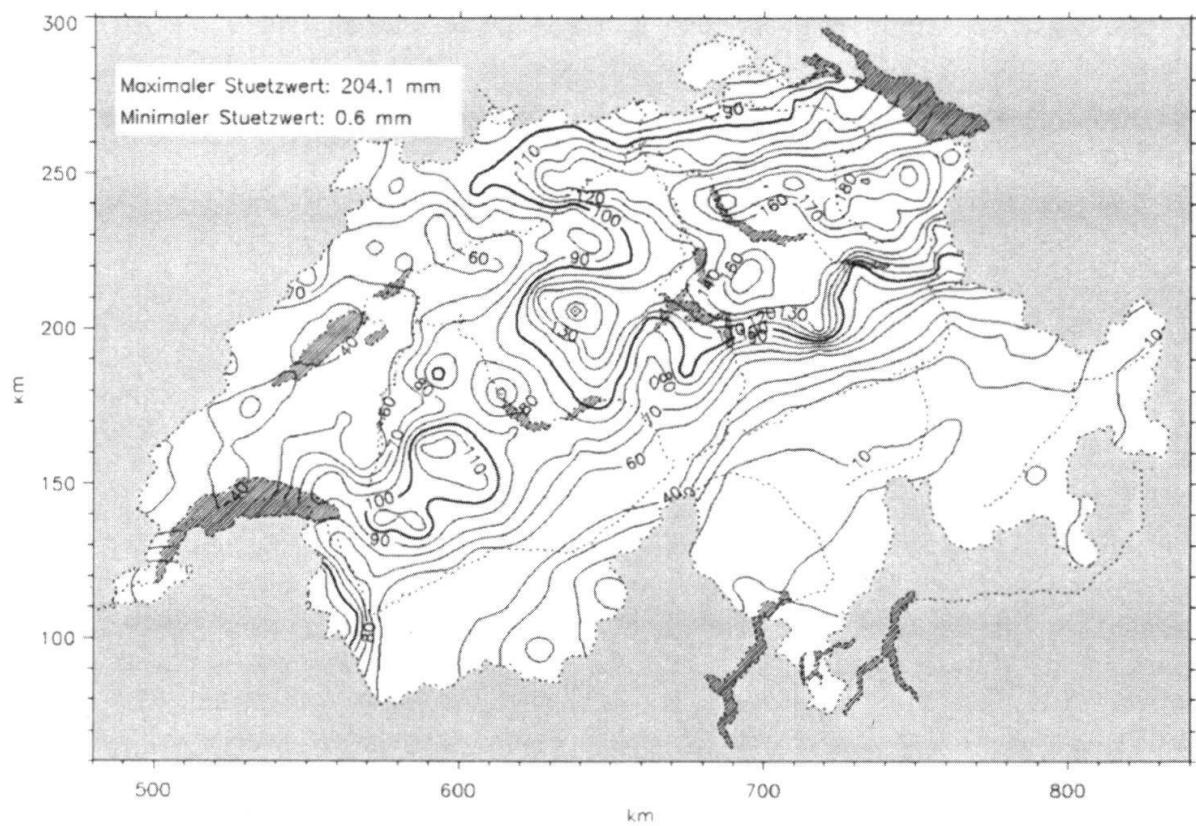


Fig. 3: Maximaler 72-Stunden-Niederschlag während der Periode vom 11.–15. Mai 1999. (BWG 2000a).

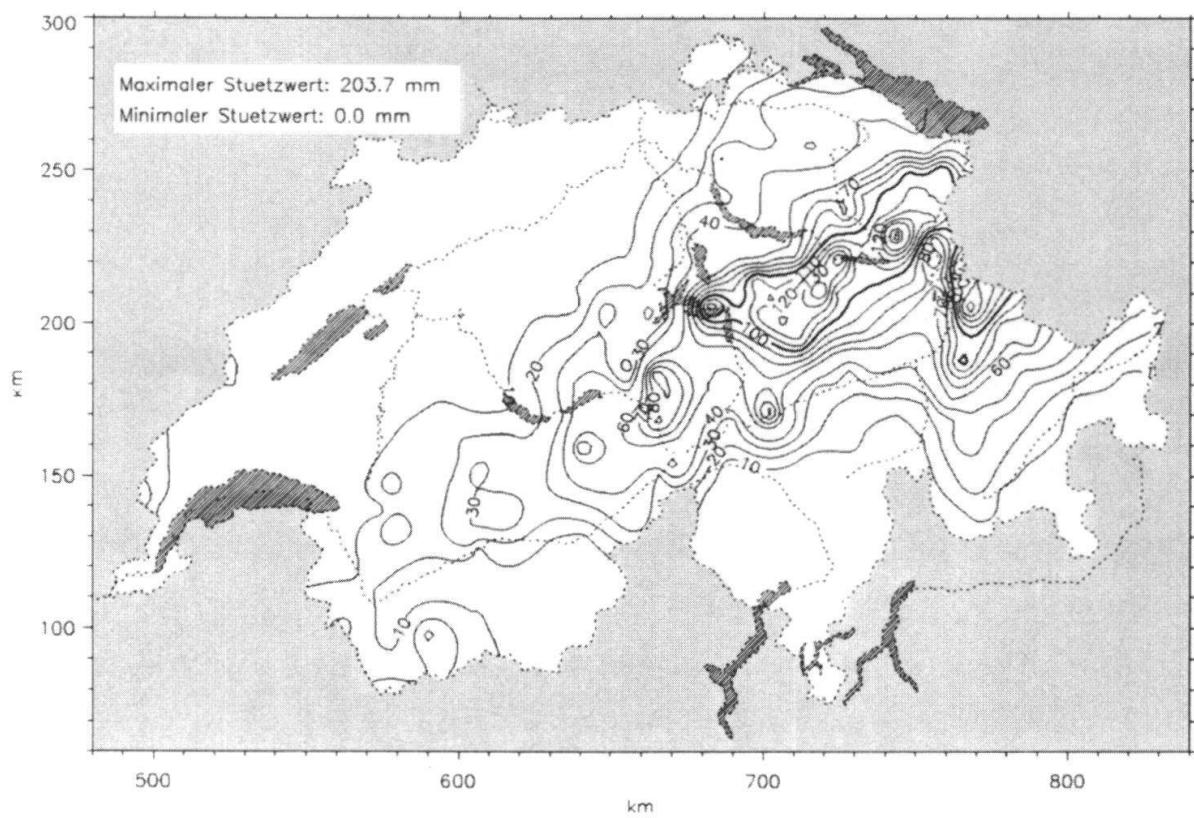


Fig. 4: Maximaler 24-Stunden-Niederschlag während der Periode vom 19.–21. Mai 1999. (BWG 2000a).

nen Bern und Freiburg in Mitleidenschaft gezogen wurden. Verbreitet kam es in der Periode vom 11.–13. Juli zu Gewittern, welche vor allem die Ostschweiz und die Nordwestschweiz heimsuchten. In der Nacht vom 9. auf den 10. August wurde vor allem das Bellinzoneser im Kanton Tessin von Unwettern betroffen.

Die erste Hälfte des Septembers 1999 war verbreitet trocken und sehr warm. Ab dem 16. September wurden vermehrt feuchte Luftmassen gegen die Schweiz geführt, welche verbreitet zu überdurchschnittlichen Niederschlägen führten. Im Tessin wurden sogar monatliche Regensummen registriert, die um 200–300 % über dem langjährigen Mittel lagen. Entsprechend kam es vor allem im Tessin, aber auch im Kanton Graubünden, zu teilweise schweren Schäden durch Hochwasser und Rutschungen. Die letzten drei Monate des Jahres 1999 blieben abgesehen von einem Gewitter im Tessin zu Beginn des Monats Oktober von schweren Unwetterereignissen verschont.

Das Jahr 1999 war im allgemeinen nass und deutlich wärmer als im langjährigen Durchschnitt. Im Inneren der Alpen und im südlichen Teil der Schweiz waren deutlich zu wenig Sonnenstunden zu verzeichnen. Verbreitet war es in der Schweiz rund 1,5°C zu warm. Besonders gross war der Wärmeüberschuss mit 2°C am Juranordfuss, von Basel bis zum Bodensee, in den Regionen Chur und Bern, am Genfersee und in der Rhoneebene. In weiten Teilen der Schweiz fielen etwa 125 bis 140 Prozent der normalen Niederschläge. Im Nordwallis und in Nordbünden sowie vom Lukmanier bis zum San Bernardino traten sogar Werte über 150 Prozent der mittleren Niederschlagsmenge auf. Weniger überdurchschnittlich, lokal knapp normal, waren die Niederschläge unter anderem im Seeland, im Berner Oberland sowie in den Zentralalpen. Einzig das Mendrisiotto verzeichnete weniger Regen als im langjährigen Mittel. Die Besonnung nördlich der Alpen sowie vom Glarnerland bis zum Fürstentum Liechtenstein lag tendenziell etwas unter dem Normalwert. In den meisten Alpengebieten erreichte die Besonnung rund 90 bis 95 Prozent des langjährigen Mittels. Im Bündner Oberland und im Oberengadin waren es noch weniger. Der Norm entsprechend schien die Sonne im Südtessin, und einzig am Juranordfuss war mit 105% des Durchschnitts eine übernormale Besonnung zu verzeichnen.

3. Zeitliche und räumliche Verteilungen der Hanginstabilitäten

Die Abteilung Wasser-, Erd und Felsbewegungen an der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL sammelt seit 1972 systematisch Meldungen über Unwetterschäden. Die Hochwasser- und Rutschungsschäden des laufenden Jahres werden aufgezeichnet, analysiert und klassiert. Die Erhebungen basieren hauptsächlich auf Meldungen von rund 550 Zeitungen der Schweiz.

Der jährliche Unwetterbericht befasst sich mit naturbedingten Schäden als Folge von starken Gewittern, Dauerregen und extremer Schneeschmelze. Nicht berücksichtigt werden Schäden als Folgen von Lawinen, Schneedruck, Fels- und Bergstürzen, Erdbeben, Blitzschlägen, Hagel und Sturmwind. Die jährliche Schadensumme beruht auf Angaben von Versicherungen, Schadenexperten, Krisenstäben, halbamtlichen und amtlichen Stellen von Gemeinden, Kantonen, Bund u.a.m. Sie gibt die unmittelbaren Sachschäden grössenordnungsmässig an. In den gesamten Schadenskosten berücksichtigt und aufgelistet sind sowohl versicherte Sach- und Personenschäden (kantonale Gebäudeversicherungen, Privatversicherungen), als auch

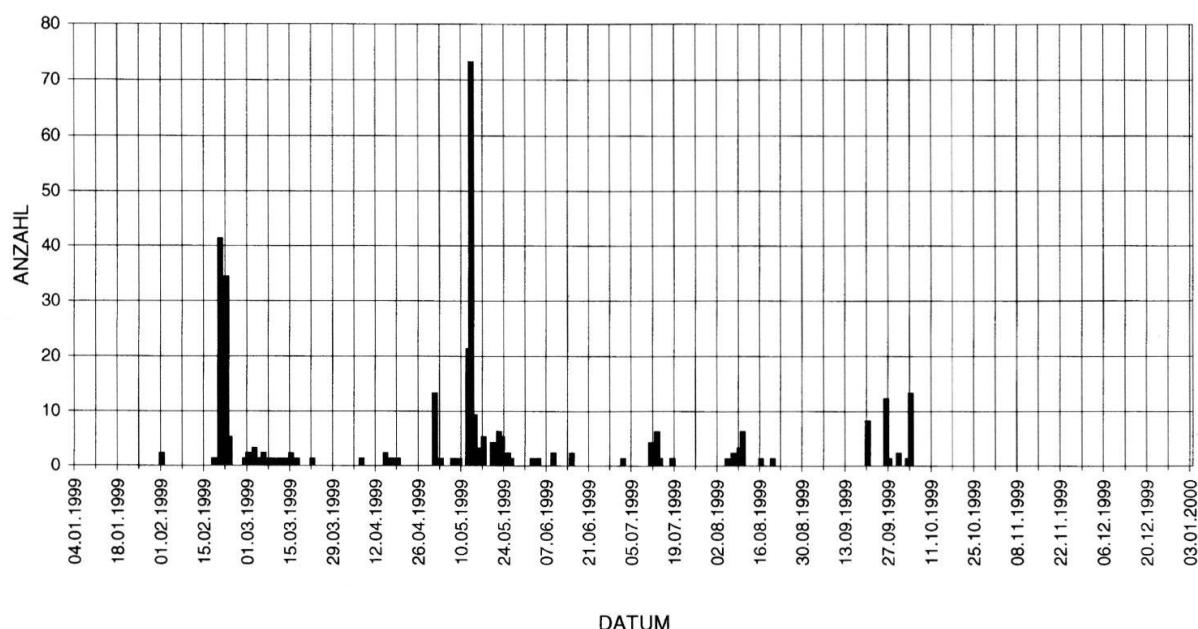
nicht versicherte und nicht versicherbare Schäden. Darunter fallen u.a. Elementarschäden in der Forst- und Landwirtschaft, Infrastrukturschäden von Bund, SBB, Kantonen und Gemeinden.

Für die vorliegende Untersuchung wurden alle bekannten Rutschungsprozesse, welche sich im Jahre 1999 ereigneten, zusammengestellt und in Tabelle und Karten dargestellt. Dabei wurden über 350 Lokalitäten mit Rutschungen und Hangmuren berücksichtigt, wobei teilweise mehrere flachgründige Rutschungen in einem Ereignis zusammengefasst wurden.

Die *zeitliche Verteilung* der Hanginstabilitäten des Jahres 1999 (Fig. 5) zeigt deutlich zwei Perioden mit hoher Rutschaktivität. Die erste Periode fand zwischen dem 20. und 23. Februar statt, während der 95 Ereignisse registriert wurden (27 % aller Hanginstabilitäten). Eine zweite folgte zwischen dem 12. und 17. Mai, als 112 Ereignisse (32 %) verzeichnet worden sind. Während Pfingsten (19.–24. Mai) wurden 20 Ereignisse ausgelöst. Der Rest des Jahres 1999 zeigte keine Periode mit besonders häufigen Hanginstabilitäten, ausgenommen einige Ereignisse zwischen dem 11.–13. Juli, 9.–10. August, wie auch am 20. September, 27. September und 4. Oktober.

70% aller Hanginstabilitäten wurden während den ersten sechs Monaten des Jahres 1999 ausgelöst. Ein Vergleich mit den hydrometeorologischen Daten einer repräsentativen Meteostation in der Zentralschweiz (Alptal/SZ; Fig. 6) zeigt, dass die erste Periode mit hoher Rutschaktivität (20.–23. Februar) auf die letzten Schneefälle im Februar mit einem Anstieg des Wasseräquivalents in der Scheidecke und die ersten Hochwasser des Jahres folgt. Die zweite Rutschperiode (12.–17. Mai) des Jahres erfolgt während der Starkniederschläge am Ende der Schneeschmelzperiode.

Die *räumliche Verteilung* der Hanginstabilitäten des Jahres 1999 (Fig. 7) zeigt, dass die Witterungsverhältnisse im Februar sehr viele Rutschungen und Hangmuren in den Kantonen Aargau, Basel-Land, Zürich und St. Gallen verursachten. Die Ereignisse finden sich hauptsächlich in der Ostschweiz, der Zentralschweiz, dem Mittelland, im Nordwestschweizer Jura sowie im Genferseegebiet. Während des Monates Mai dehnen sich die Ereignisse in den Voralpenraum der Westschweiz sowie



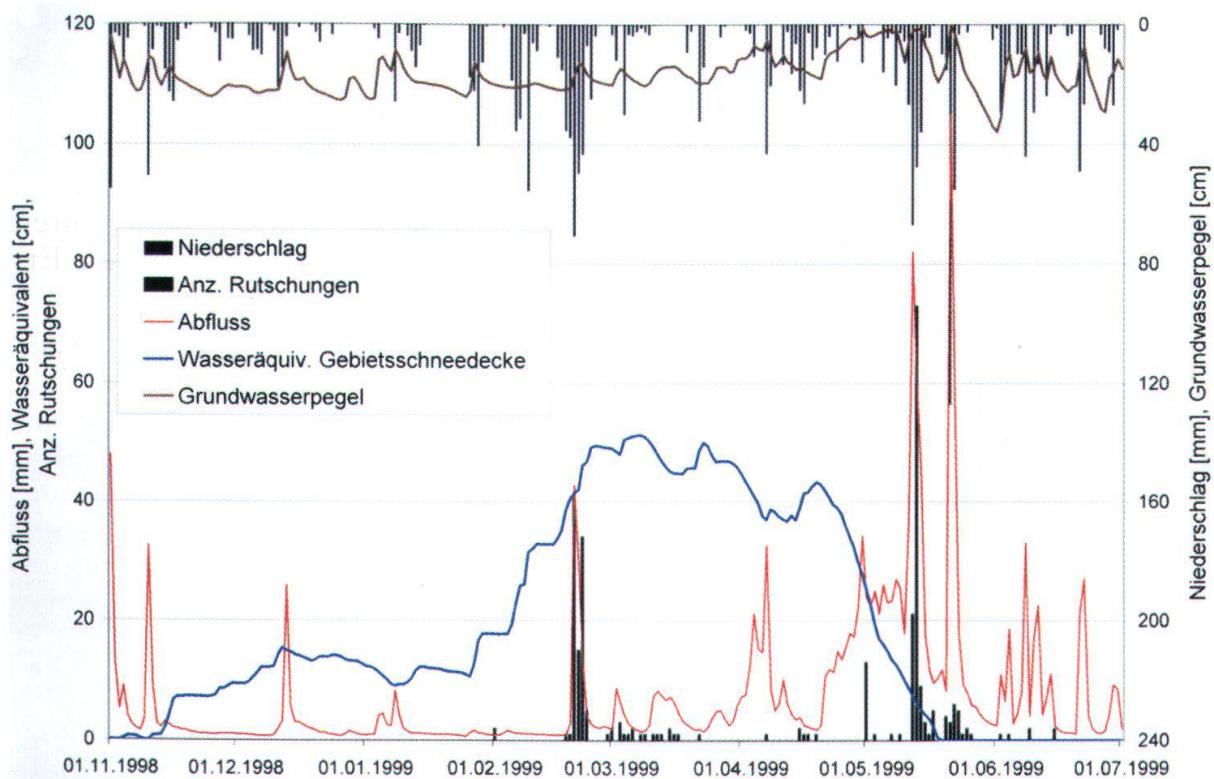
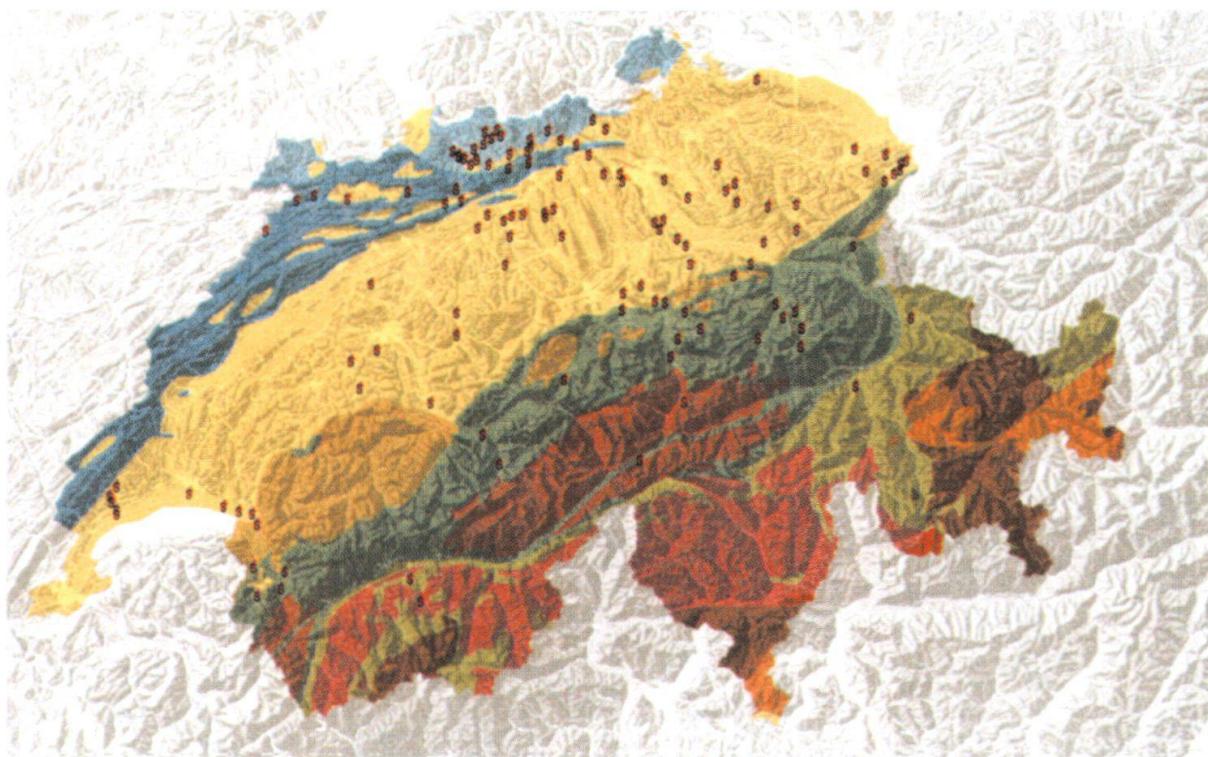


Fig. 6: Abfluss, Niederschlag, Wasseräquivalent der Schneedecke, Grundwasserspiegel im Alptal (SZ) und zeitliche Verteilung der Hanginstabilitäten des Jahres 1999.

am Alpennordrand und im Bündnerland aus. Südlich des Hauptalpenkammes traten im Wallis und Tessin nur vereinzelt isolierte Ereignisse auf. Im zweiten Halbjahr (Juli bis Dezember 1999; Fig. 8) konzentrieren sich Ereignisse mit Hanginstabilitäten witterungsbedingt auf die Südschweiz (Tessin und Engadin). In den übrigen Regionen wurden nur vereinzelt Rutschungen registriert.

Die räumliche Verteilung der Hanginstabilitäten zwischen April und Juni 1999 (Fig. 7) ist vergleichbar mit der Verteilung der Niederschläge während der Periode 11.–15. Mai (Fig. 3). Eine grosse Korrelation besteht zwischen der Ausdehnung der Zone mit Hanginstabilitäten und den Isohyeten mit mehr als 100 mm Niederschlag. Die gesamten Hochwasserschäden im Jahre 1999 beliefen sich auf knapp 700 Millionen Franken. Der Grossteil dieser Schäden wurde durch die Hochwasser vom Mai verursacht. Aufgrund der langdauernden intensiven Schneeschmelze und zwei Starkniederschlagsperioden von Auffahrt (10.–14. Mai) und Pfingsten (19.–22. Mai) traten die meisten Alpenrandseen der Deutschschweiz und viele ihrer Ausflüsse über die Ufer (Aschwanden 2000; Hegg et al. 2000; Petrascheck & Hegg 2000). Während diesen beiden Ereignissen entstanden insgesamt Wasserschäden von etwa 580 Millionen Franken, wovon nur ein relativ geringer Anteil durch Rutschungen und Hangmuren verursacht worden ist. Einige länger anhaltende Ereignisse, vor allem die Rutschungen und Hangmuren/Murgänge oberhalb dem A2-Lehnenviadukt Beckenried (Fallbeispiel Nr. 10), brachten aber erhebliche Schäden und Folgekosten mit sich. Der gesamte durch Hanginstabilitäten verursachte Schaden beläuft sich auf ca. 60–75 Millionen Franken. Damit liegt der Anteil der Schäden aus Hanginstabilitäten an den gesamten Wasserschäden etwa im langjährigen Mittel von 10–15 %.

Januar - März



April - Juni

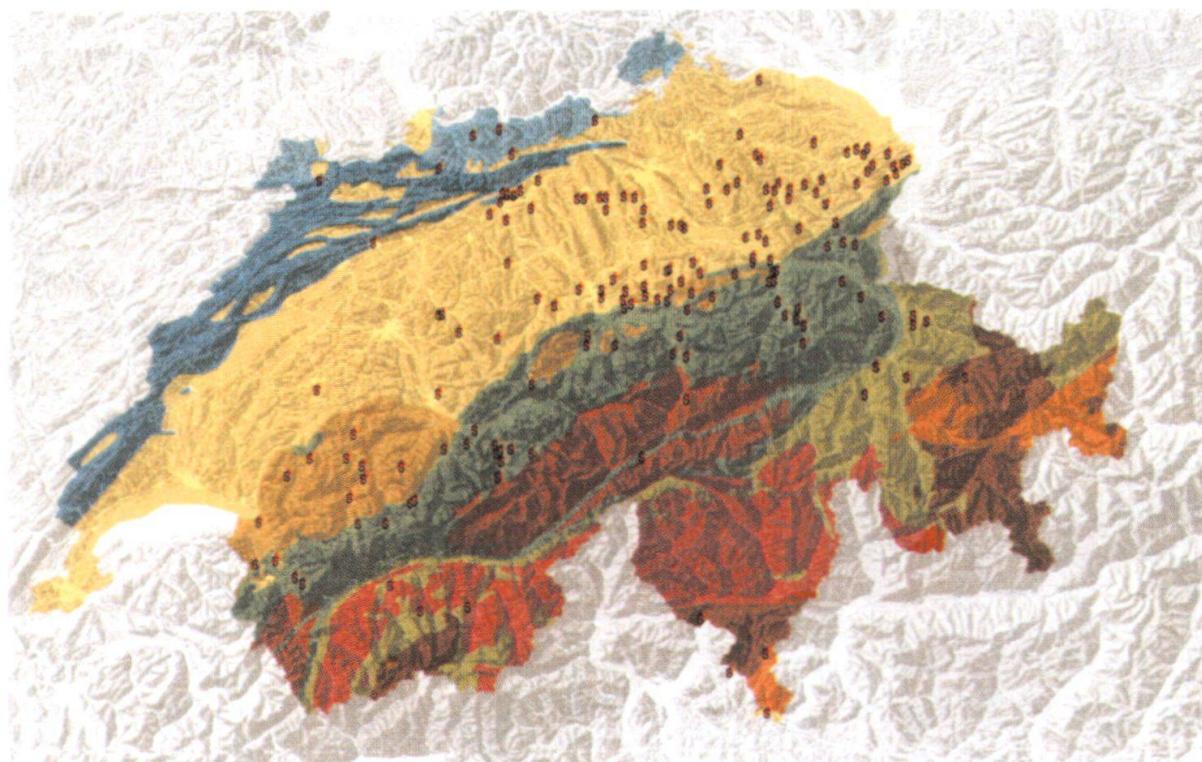
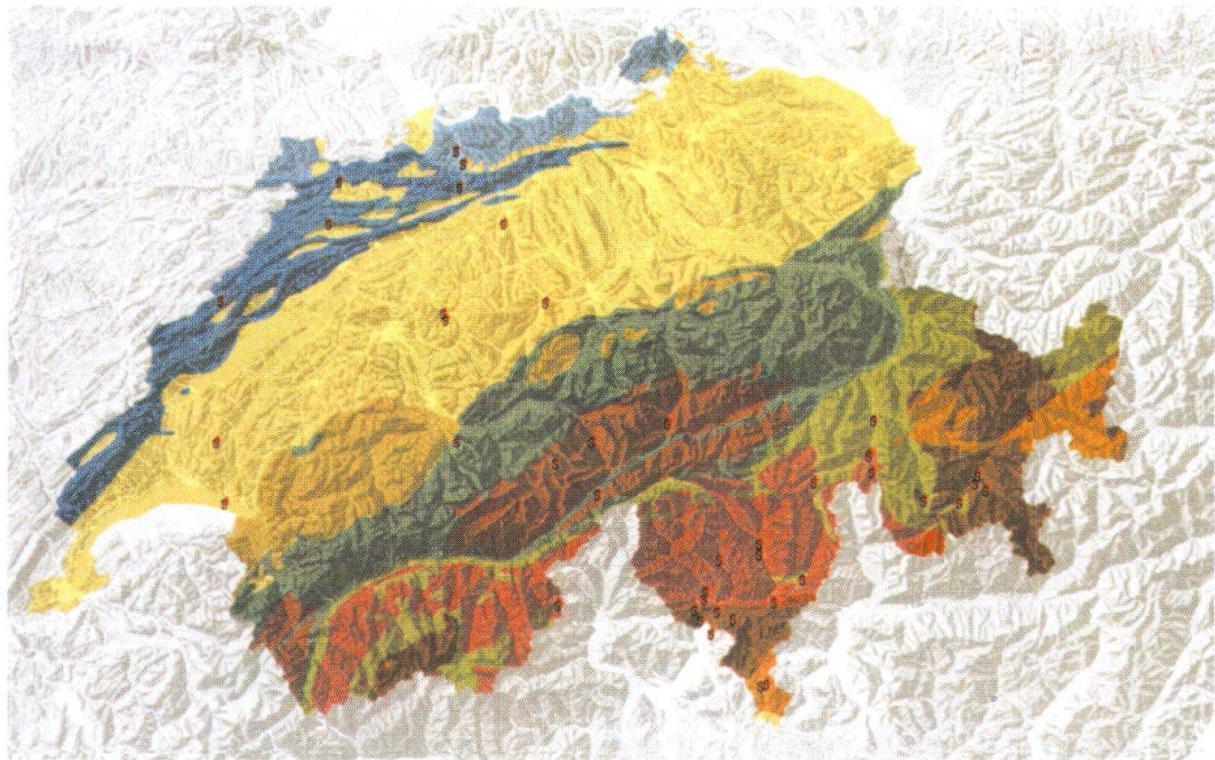


Fig. 7: Räumliche Verteilung der Hanginstabilitäten während der Monate Januar–März und April–Juni 1999.

Juli - September



Oktober - Dezember

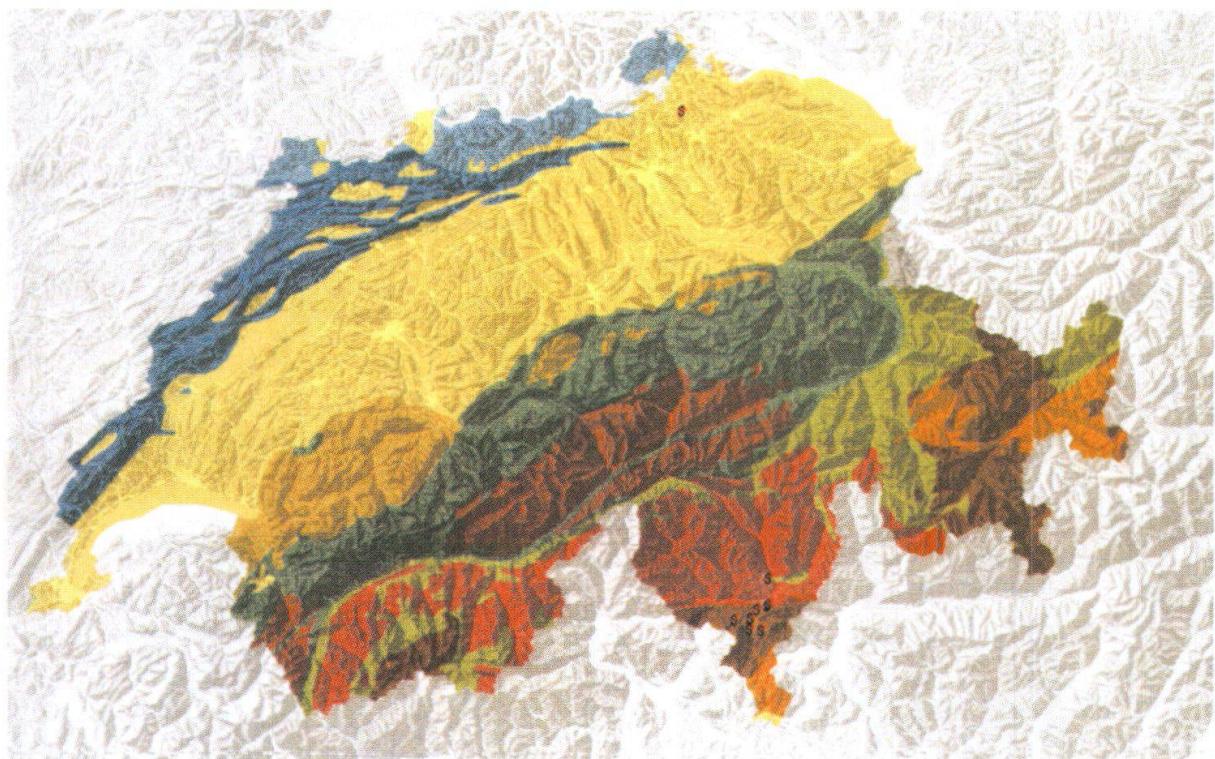


Fig. 8: Räumliche Verteilung der Hanginstabilitäten während der Monate Juli–September und Oktober–Dezember 1999.

4. Aspekte der Hangstabilität

4.1 Disposition

Die Entstehung, Auslösung und der Ablauf von Hangprozessen sind Teil eines komplexen Systems, beispielsweise einer Talfalte oder eines Bacheinzugsgebietes. Der Zustand eines Systems ist nicht konstant, er variiert im Laufe der Zeit. Mit dem Begriff "Disposition" wird der zeitlichen Variationen unterworfenen Systemzustand erfasst. Er bezeichnet die Anfälligkeit oder Anlage eines Gebietes für die Entstehung und Auslösung von Prozessen. Die Disposition zu Hangprozessen ist von verschiedenen geologischen, hydrogeologischen und hydrologischen Faktoren, von Reliefeigenschaften sowie anderen Merkmalen abhängig.

Im Allgemeinen werden zwei Arten von Dispositionen unterschieden (vgl. Fig. 9):

- *Grunddisposition*: Über längere Zeiträume (Jahrzehnte, Jahrhunderte) mehr oder weniger invariable, von geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten (z.B. Schuttproduktion, Materialeigenschaften in Abhängigkeit der Lithologie) sowie Reliefeigenschaften (Exposition, Reliefenergie) abhängige Anfälligkeit eines Gebietes für die Entstehung gewisser Prozesse.
- *Variable Disposition*: Sie beschreibt kurzfristig (Tage, Wochen, Monate) variierende Zustandsgrößen (saisonale Unterschiede, z.B. hinsichtlich Niederschlagsmenge, Gewittern, Temperatur, Frost-Phänomene).

Auslösender Faktor (trigger):

Ein Hangprozess wird dann ausgelöst, wenn das System bei gegebener Disposition dermassen belastet wird, dass der Schwellenwert der einen oder anderen Zustandsgröße überschritten wird. Bei natürlichen auslösenden Faktoren handelt es sich meist um eine kurzfristige Belastung (z.B. Gewitter, Starkregen, Erdbeben), durch welche ein Prozess ausgelöst wird.

4.2 Boden- und felsmechanische Aspekte

Hanginstabilitäten (Massenbewegungen) beruhen auf Veränderungen des Kräftegleichgewichtes (Verhältnis der rückhaltenden und treibenden Kräfte, vgl. Fig. 10) infolge physikalischer und/oder chemischer Prozesse, welche ihrerseits durch verschiedene Faktoren gesteuert werden. So beeinflussen beispielsweise Verwitterungsprozesse die Hangstabilität langfristig, während Starkniederschläge oder die Erosion des Hangfußes durch ein Fließgewässer diese kurzfristig beeinträchtigen können.

Bei zahlreichen Hanginstabilitäten und insbesondere bei Rutschungen spielt das Wasser als treibende Kraft oft eine entscheidende Rolle. Die nachfolgende Übersicht konzentriert sich auf jene Wirkungsweisen des Wassers, welche im Zusammenhang mit den Hanginstabilitäten 1999 eine massgebliche Rolle gespielt haben dürften. Selbstverständlich sind zwischen den Wirkungsweisen graduelle Übergänge oder Kombinationen möglich.

- **Wasser konzentriert an potenzieller oder effektiver Gleitfläche** oder an der Grenze zwischen Schichten unterschiedlicher bodenmechanischer Eigenschaften. Im Fels: Wasser **auf Trennfläche** (z.B. Kluftfläche).

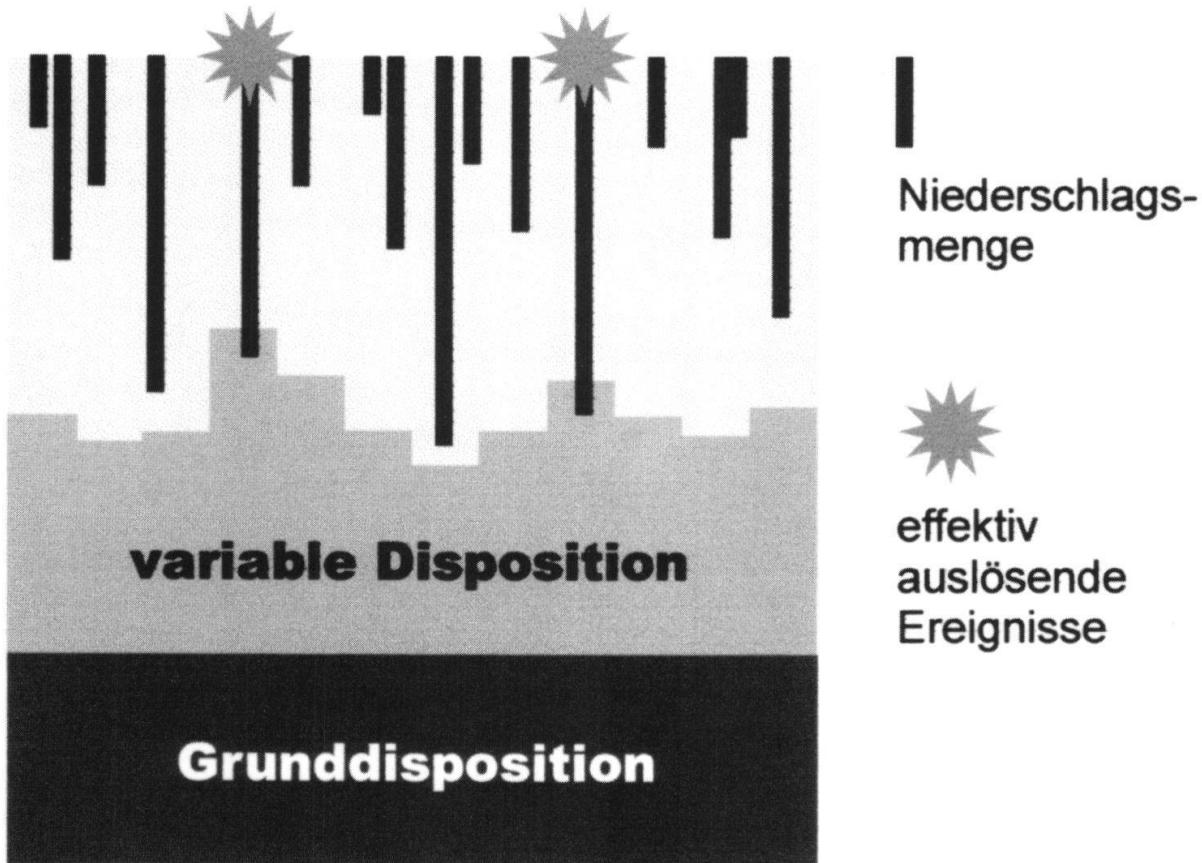


Fig. 9: Verschiedene Faktoren bestimmen, ob aus einem natürlichen Ereignis ein gefährlicher Prozess wird (Quelle: Achtung, Naturgefahr! - KAWA, TBA, AGR, Bern 1999).

Wirkung: Bildung von als treibende Kraft wirkenden Wasserdrücken, deren Grösse von der überlagernden Wassersäule abhängig ist.

– **Porenwasser in durchlässiger Schicht** unterhalb oder zwischen schlechter durchlässigen Schichten.

Wirkung: Die Wasserführung in der besser durchlässigen Schicht führt bei gespannten Verhältnissen zu Überdrücken, welche dem Gewicht des überlagerten Hangpaketes entgegenwirken (Entlastung). Dabei kann es auch zu Formen von hydraulischem Grundbruch kommen.

– **Porenwasser ± gleichförmig** in den Schichten verteilt.

Wirkung: Infolge der Durchnässung werden die Normalkräfte zwischen den Körnern reduziert, was zu einer Verringerung der Scherfestigkeitsparameter (Kohäsion, Reibungswinkel) des Materials führt.

– **Strömungsdruck**

Wirkung: Hangabwärts fliessendes Wasser erzeugt eine talwärts gerichtete Spannung, welche als zusätzliche treibende Kraft wirksam wird.

– **Erosion**

Wirkung: Durch Erosion (auch innere) können Feinanteile ausgewaschen werden, was zu einer progressiven Weg- oder Ausschwemmung von Körnern und einer auflockerungsbedingten, raschen Destabilisierung des Materials führen kann.

Das Wasser im Untergrund ist eine zeitlich fluktuierende, der variablen Disposition zuzuordnende Zustandsgrösse. Sie ist allerdings kurzfristig so veränderbar, dass sie zum auslösenden Faktor für Hanginstabilitäten werden kann. Die Durchlässigkeit, Wasserwegsamkeit und Hydraulik des Untergrundes sind Eigenschaften, welche in der Regel durch die Grunddisposition gegeben sind. Im Falle von Hangbewegungen können sie aber auch kurzfristigen Änderungen unterworfen sein. Daselbe gilt für die boden- und felsmechanischen Kennwerte (z.B. Reduktion des Reibungswinkels durch Schmiereffekte).

Die Festigkeit eines Lockergesteinsmaterials ist zu einem Teil von den Reibungskräften bzw. von den Normalkräften zwischen den Komponenten (Körnern) abhängig. Da zunehmende Porenwasserdrücke die Normalkräfte zwischen den Komponenten reduzieren, führt dies zu einer Verminderung der Festigkeit. Aus diesem Grund kann die Hangstabilität kurzfristig entscheidend verändert werden.

Die Disposition zur hangwasserbedingten Destabilisierung ist auch abhängig von der Durchlässigkeit und Permeabilität eines Materials. Bei hoher Durchlässigkeit und Permeabilität (z.B. bei wasserwegsamem Korngefüge oder wasserwegsamen Trennflächen) ist eine rasche Drainage des anfallenden Wassers möglich. Dem Aufbau von Porenwasserdrücken sind Grenzen gesetzt, umso mehr wirken hingegen Strömungsdrücke. In heterogenem, nicht durchgehend permeablen Material kann der Hangwasseranfall zum Auffüllen lokaler "Reservoir" führen, welche bei weiter anhaltenden Zuflüssen Überdrücke bilden können, wodurch darüberliegende Schichten eine Entlastung erfahren.

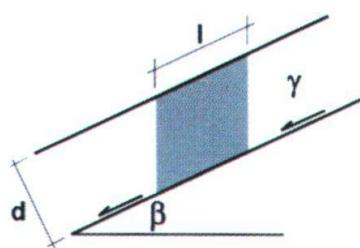
Die Einflüsse des Wassers auf die Stabilität eines Hanges (Fels und/oder Lockergestein) können anhand von Rechenverfahren quantifiziert werden. Die gängigen Verfahren (Janbu, Bishop, Krey, Fellenius u.a.) basieren auf der Annahme eines Bruchmechanismus längs einer Fläche, anhand dessen eine Voraussage über die in der Bruch- oder Gleitfläche wirkenden Schubspannungen τ erfolgt. Sie liefern trotz ihres – die Realität vereinfachenden – Ansatzes und theoretischer Mängel (siehe z.B. Lang & Huder 1990) in der Regel aussagekräftige Resultate, wenngleich die Input-Parameter (Bodenkennwerte, Hangwasserverhältnisse, evtl. Lage der Gleitfläche) nicht immer einfach zu erheben und oft nur abzuschätzen sind.

Der Einfluss des Wassers auf die Stabilität eines Bodenelementes kann auf einfache Art auch anhand einer unendlich langen, hangparallelen (potenziellen) Gleitfläche aufgezeigt werden (vgl. Fig. 10). Bezogen auf ein 1 m breites, kohäsionsloses Bodenelement X ($l = 5 \text{ m}$, $d = 3 \text{ m}$) mit dem Raumgewicht $\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$ und einem Reibungswinkel $\varphi = 35^\circ$ ergeben sich bei einer Hangneigung (= Neigung der Gleitfläche) von 30° gegenüber dem Abgleiten folgende Sicherheiten:

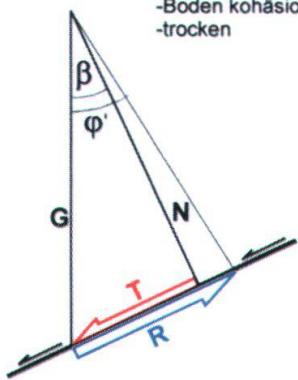
Wasser	Sicherheit	Änderung
P: Porenwasserdruck		
S: Strömungsdruck		
Boden trocken	≈ 1.21	
P: Druckniveau 1 m über Gleitfläche	≈ 0.99	- 18.3 %
P: Druckniveau 2 m über Gleitfläche	≈ 0.77	- 36.7 %
S: Hangwasserspiegel = OK Terrain	≈ 0.82	- 32.2 %

Hangwasser hat in allen Fällen eine deutliche Reduktion der Stabilität zur Folge und führt rasch zu einem rechnerisch instabilen Zustand. Beim Vorhandensein einer Kohäsion ist diese als Teil der Scherfestigkeit und somit als rückhaltende Kraft aufzurechnen.

Lockergestein



-Boden kohäsionslos
-trocken

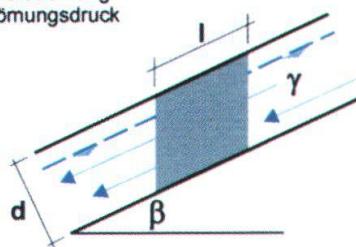


γ	Raumgewicht
d	Schichtdicke
l	Länge
β	(pot.) Gleitfläche
T	Fallwinkel
R	treibende Kraft
G	rückhaltende Kraft
N	Gewicht
ϕ'	Normalkraft
	Reibungswinkel

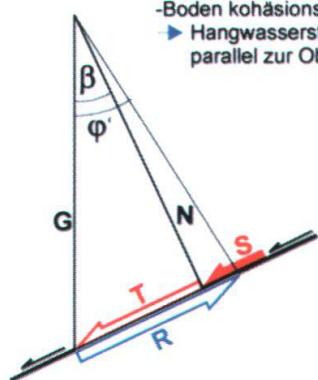
Lockergestein

$$S = l \cdot d \cdot \gamma_w \cdot \sin \beta$$

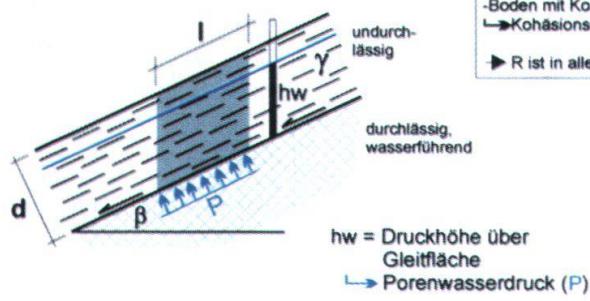
S = Sickerströmung
↳ Strömungsdruck



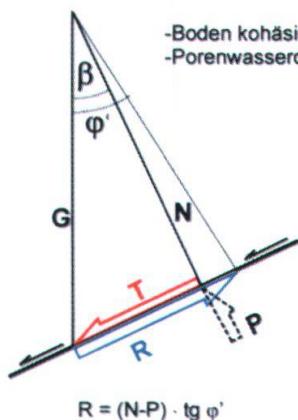
-Boden kohäsionslos
↳ Hangwasserströmung parallel zur Oberfläche



Lockergestein



-Boden kohäsionslos
-Porenwasserdruck



hw = wirksame Wasserdichte
W₁, W₂ = hydrostatischer Wasserdruk
= Kluft wassergefüllt

Fels

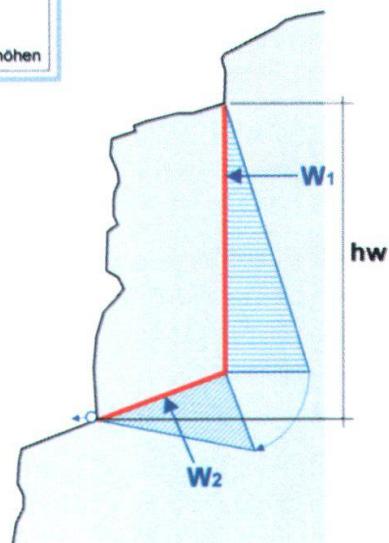


Fig. 10: Stark vereinfachte Darstellung der auf ein Untergrundelement wirkenden Kräfte.

Eine durch Niederschläge hervorgerufene Gewichtsänderung (Wasseraufnahme) bewirkt im allgemeinen noch keine Änderung der Stabilitätsverhältnisse. Niederschlag beeinflusst jedoch dann die Stabilität einer (potenziellen) Gleitschicht, wenn durch ihn ein Porenwasserdruck aufgebaut wird oder wenn infolge Durchnässung eine vorhandene Kohäsion verringert bzw. durch Bildung einer Schmierschicht der Reibungswinkel herabgesetzt wird.

Schliesslich können auf Trennflächen im Fels oder in Spalten im Lockergestein (z.B. in der Anrisszone von Rutschungen) Wasserdrücke aufgebaut werden, welche als treibende Kraft zu berücksichtigen sind.

5. Massenbewegungen 1999

5.1 Hauptprozesse

Aufgrund der in Kapitel 2 dargelegten, ausserordentlichen Witterungsverhältnisse und dem seit dem Spätherbst 1998 vielerorts evidenten, starken Wassereintrag in den Boden kommt der Wassersättigung des Untergrundes bei den Hanginstabilitäten von 1999 eine entscheidende Bedeutung zu. Die Beeinträchtigung der Festigkeitseigenschaften des Untergrundes begünstigte Ereignisse, welche sich in ihrer Mehrheit wie folgt typisieren lassen:

I Spontane Bildung von Hangmuren

- Ia) auf Hanglagen beschränkt
- Ib) in Murgänge in Gerinnen übergehend

II Spontane Bildung von flach- oder mittelgründigen Rutschungen

III Reaktivierung von bestehenden Rutschungs- oder Sackungsmassen

- IIIa) stabilisierte bis substabile, v.a. flach- oder mittelgründige Rutschungen;
- IIIb) wenig aktive oder periodisch aktive, meist tiefgründige Rutschungen oder Sackungsmassen

IV Bewegungen von Felsmassen

- IVa) Bewegungen auf klar definierten Gleitflächen;
- IVb) Deformationen auf diffusen, unklar definierten Schwächezonen.

Zwischen den ausgeschiedenen Typen und den beteiligten Massenbewegungen existieren oft graduelle Übergänge oder sie treten kombiniert auf. Die in der vorliegenden Publikation gemachte Typisierung ist daher als Vereinfachung zu betrachten, welche die im Detail oft komplexen Verhältnisse nur annäherungsweise zu reflektieren vermag.

Verschiedene der im 1. Halbjahr 1999 eingetretenen Hanginstabilitäten umfassten unterschiedliche Prozessarten. Eine klare Zuordnung zu einem der oben aufgeführten Ereignistypen kann in diesen Fällen nicht zufriedenstellend durchgeführt werden. Exemplarisch dafür sind die Ereignisse im Ischenwald oberhalb des A2-Lehnenviaduktes Beckenried (Fallbeispiel Nr. 10), wo die Hanginstabilitäten zuerst in Form von Hangmuren und Murschüben in Bachgerinnen auftraten, während sich das Hauptereignis in Form einer Rutschung auf klar definierter Gleitfläche und murgangartigen Materialabgängen aus der über eine Felswand abbrechenden Rutschfront manifestierten. Als sekundäre Phänomene begleiteten Sturzprozesse die erwähnten Ereignisse.

5.2 Charakterisierung, Beispiele

I Spontane Bildung von Hangmuren

Charakteristik/Kinematik: Oberflächennah mobilisiertes Gemisch aus Lockergestein, Bodenmaterial (inkl. Humus, Grasnarbe) und Wasser, das sich vorwiegend in fliessender Form bewegt. Im Gegensatz zu flachgründigen Rutschungen erfolgt die Bewegung mehrheitlich fliessend und relativ schnell (1–10 m/s), ohne dass sich eine klar definierte Gleitfläche als Produkt eines Scherbruches auszubilden vermag. Belastungsänderungen im Untergrund infolge des abfahrenden Materials können zu örtlichem Abscheren führen, so dass lokal auch "Gleitflächen" ausgebildet sein können. Hangmuren bilden sich lokal an relativ steilen Hängen (oft $> 30^\circ$), wobei bei starker Wassersättigung des Untergrundes bzw. hohem Wassereintrag und hohen Wasserdrücken auch tiefere Werte (bis gegen 25° , oder sogar darunter) möglich sind.

Bei Einmündung in ein Gerinne (Fliessgewässer) kann sich dieses Phänomen zu Murgängen im engeren Sinn entwickeln.

Die Ereignisse des Frühjahrs 1999 zeigen, dass die Ausbruchnischen von Hangmuren oft mit Stellen sporadischer Hangwasseraustritte oder mit oberflächennah verlaufenden, diskreten Wasserfliesswegen im Untergrund korrespondieren. Letzteres wird beispielsweise dokumentiert durch eine Hangmure, welche sich am 23. Februar 1999 in einer Geländemulde auf der Westseite des Ulmizbergs (Köniz BE) auf ca. Kote 760 löste und eine Gemeindestrasse mit knapp 200 m³ Material eindeckte (Koord. 598'750/193'800). In der Anrissnische zeigte sich in ca. 1–2 m Tiefe eine aus Molassesandstein alimentierte Quelle, welche während einiger Tage rund 30 l/min schüttete, um anschliessend weitgehend zu versiegen. Diese Beobachtungen weisen darauf hin, dass die ausserordentlich starke Wasserführung an derjenigen Stelle, an der das Kluftwasser (oder allenfalls auf der Felsoberfläche in einer Rinne konzentriert abfliessendes Hangwasser) ins Lockergestein übertrat, örtlich förmlich zu einer Verflüssigung des v.a. siltigen, z.T. schwach tonigen Sandes (≈ Verwitterungsmaterial der Molassesandsteine) führte. Denkbar sind auch lokal heterogene Durchlässigkeitsverhältnisse, welche zu einer Entfestigung des Lockergesteins ähnlich einem hydraulischen Grundbruch führten (Hangwasser in durchlässiger Schicht unterhalb oder zwischen Schichten geringerer Durchlässigkeit führt zu Überdrücken, welche dem Gewicht der überlagerten Schichten entgegenwirken und diese entlasten).

Spontane Abgänge von Hangmuren ereigneten sich vielerorts, so auch im Raum Meiringen – Innertkirchen – Guttannen (BE). Zwischen dem 21.5. und 22.5.1999 wurden infolge ergiebiger Niederschläge zahlreiche Abgänge registriert. Hervorzuheben sind dabei die Ereignisse von Guttannen, wo sich am Abend des 21.5.99 mehrere Hangmuren lösten und – nach Einmündung in den Vorfluter (Koord. 665'250/168'450) – als Murgänge bis in die Aare vorstissen. Sie sind deshalb erwähnenswert, weil sie sich aus einer steilen Vivian-Windwurffläche entwickelten, deren Untergrund aus relativ gut durchlässigem, sandig-kiesigem Gehängeschutt auf unregelmässig verlaufender Felsoberfläche besteht.

Bemerkenswert ist ein Ereignis aus dem Gebiet Meiringen-Hasliberg, wo sich am 22. Mai in steilem Waldgelände eine Hangmure bildete. Die Ausbruchnische (Koord. 660'200/177'800) befindet sich auf Kote 1670 an der Basis einer bewaldeten



Fig. 11: Anrissnische der Hangmure im Urbachtal. Im Vordergrund die Anrissstelle auf der Terrasse von Loib (ca. Kote 1'200), im Hintergrund der Talboden des Urbachtals (ca. Kote 860) mit Resten von Lawinenschnee am Gegenhang. In der Verlängerung der Runse ist im Talboden ein kleiner Teil der abgelagerten Schuttmassen zu sehen (Pfeil).

Steilstufe, welche von stark aufgelockertem, gebrächem Fels gebildet wird. Aus der 15–20 m breiten und 3–4 m tiefen Ausbruchnische ergossen sich anfänglich 200–300 l/min Wasser. Die Schüttung nahm nur langsam ab und betrug am 26. Mai (Schneedecke bis ca. 1'700 m ausgeapert) noch gut die Hälfte der ursprünglichen Menge. Frühere Wasseraustritte waren an dieser Stelle nicht bekannt.

Wegen ihrer Grösse ist auch eine Hangmure aus der südlichen Talflanke des Urbachtals (Innertkirchen) zu erwähnen. Sie löste sich ebenfalls am 22.5.1999 aus einer aus Moräne und Gehängeschutt aufgebauten Terrasse (vgl. Fig. 11) und hinterliess eine Ausbruchnische von ca. 30 m Breite, 30 m Länge und bis zu 12 m Tiefe (Koord. 659'420/169'470). Durch eine steile, bewaldete Runse talwärts fahrend (Pauschalgefälle ca. 37°) lagerten sich im Akkumulationsbereich, wo auch ein Stall zerstört wurde, schätzungsweise rund 10'000–15'000 m³ Lockergestein ab.

Hangmuren und kleinere Rutschungen in den auf ca. 1'300 m ü. M. gelegenen Einhängen des Spissbaches (Lauterbrunnen) unterhalb Winteregg führten am 9.6.1999 zu einem Murgang von ca. 2'000–3'000 m³. Ursache ist die starke Durchnässung der Hangpartie. Dabei traten aus den Anrissflächen über der Moräne verbreitet grosse und ergiebige Wässer aus. Der Mündungsbereich Spissbach - Lütschine wurde durch das Ereignis übersart. Wegen Rückstaugefahr musste die Lütschine ausgebaggert werden.

Dass selbst ganz lokale Hanginstabilitäten zu einer ernsthaften Gefährdung werden können, zeigt eine kleine flachgründige Rutschung in der Flanke des Gandgrabs im Diemtigtal (Diemtigen). Die ca. 1'000 m³ siltigen Gehängeschutt umfassende, aus Weideland abgeglittene Rutschmasse verstopfte das zu diesem Zeitpunkt stark wasserführende Gerinne, woraus sich ein Murgang (ca. 2'000 m³) starker Intensität entwickelte. Ebenfalls im Diemtigtal übersarten etwa um den 12.5.1999 herum kleinere Hangmuren von ca. 1'000 m³ die Alp im Gebiet Suräboda und beschädigten eine Alphütte.

Dass durch solche relativ kleine Ereignisse auch Menschen an Leib und Leben gefährdet sind, zeigt das Fallbeispiel Nr. 12 (Silenen).

Weitere Murgangphänomene (auf Hangpartien begrenzte Hangmuren wie auch Murgänge in Gerinnen) sind in den Fallbeispielen Nr. 4 (Adelboden), 6 (Küttigen), 7 (Sörenberg), 9 (Stallikon), 10 (Beckenried), 13 (Braunwald) und 14 (Weesen) eingehender illustriert. Oft besteht bei diesen Ereignissen ein direkter Zusammenhang mit Rutschungen.

II Spontane Bildung von flach- oder mittelgründigen Rutschungen

Charakteristik/Kinematik: Hangpartien aus Lockergestein- und/oder Fels, welche längs mehr oder weniger klar definierter, durch einen Scherbruch entstandener Gleit- oder Trennflächen talwärts gleiten. Bei hohem Wasseranteil können sich daraus Hangmuren (Typ I) entwickeln.

Im Zusammenhang mit den 1999er-Ereignissen kommen primär zwei Mechanismen mit Bildung übermässiger hydrostatischer Wasserdrücke in Frage (vgl. Kap. 4.2):

- Porenwasser konzentriert an potenzieller Gleitflächen oder an Grenzen zwischen Schichten unterschiedlicher bodenmechanischer Eigenschaften;
- Porenwasser in durchlässiger Schicht unterhalb oder zwischen relativ schlecht durchlässigen Schichten: Die Wasserführung in der besser durchlässigen Schicht führt zu Auftriebsdruck, welcher dem Gewicht des überlagernden Hangpaketes entgegenwirkt (→ Entlastung).

Hanginstabilitäten dieses Typus dürften an Stellen, an denen bislang keine Instabilitäten bekannt waren, selten sein. Ein Beispiel aus dem Gebiet Habbach (Langnau BE) zeigt, dass kurzfristig überkritische Porenwasserdrücke spontan einen Scherbruch auslösten, welcher zu einer kurzen Translation des Lockergesteins führte. Vermutlich am 22. Februar 1999 bildete sich in der Folge anhaltender Niederschläge und der Schneeschmelze längs eines schmalen Weges auf einer Länge von lediglich ca. 55 m ein markanter, offener Riss (630'300/198'230). Längs des Risses senkte sich das Terrain talseitig vertikal bis zu max. 40–50 cm ab. Gleichzeitig bildete sich ca. 25–30 m weiter talwärts ein deutlicher, ca. 20–40 cm hoher Rutschwulst aus. Die Bewegungen waren nur von kurzer Dauer. Nachdem die gemäss Rammsondierungen flachgründige Rutschung abgeglitten war, konnten im Rahmen der eingeleiteten Überwachung keine Bewegungen mehr festgestellt werden. Offensichtlich wurden durch das Ereignis die Porenwasserdrücke rasch abgebaut.

Ähnliche Beobachtungen liegen auch im Zusammenhang mit verschiedenen Rutschungen von bis zu einigen 1'000 m³ Volumen im Bereich der Uetliberg-Albiskette (Fallbeispiel Nr. 9, Stallikon) vor, welche jeweils nur um wenige Meter abglitten

und dann zum Stillstand kamen. Das Fallbeispiel Nr. 1 (Chenolette) wie auch der auslösende Prozess des Beispiels Nr. 14 (Weesen) sind ebenfalls diesem Typ zuzuordnen.

III Reaktivierung von bestehenden Rutschungs- oder Sackungsmassen

Charakteristik/Kinematik:

- Hangpartien aus Lockergestein- und/oder Fels, welche längs bestehenden Gleit- oder Trennflächen oder räumlich eng begrenzten Zonen verstärkter Scherdeformation talwärts gleiten.
- Hangpartien aus Lockergestein oder Fels mit anhaltender, langsamer Verformung durch bruchlose, kontinuierliche Deformation und/oder diskontinuierliches Kriechen mit Gleitvorgängen auf zahlreichen Kleinsttrennflächen.

Im Zusammenhang mit den Hanginstabilitäten 1999 dürften wohl zahlreiche bestehende Rutschungs- oder Sackungsgebiete reaktiviert worden sein. In einzelnen Gebieten sind die Beschleunigungen dank vorhandener Überwachungseinrichtungen mehr oder weniger umfassend dokumentiert.

Besonders dramatisch verlief die Beschleunigung bei der Rutschung Gryenbach (Lauterbrunnen, Fallbeispiel Nr. 5): Die grossvolumige, tiefgründige Rutschmasse (15–20 Mio m³) bewegte sich normalerweise mit 10–20 mm/Jahr, beschleunigte sich im Juni 1999 hingegen auf eine Geschwindigkeit von 150–400 mm/Jahr. Im Herbst desselben Jahres nahmen die Bewegungen langsam ab und verharrten im April 2000 praktisch bei Null.

Die Reaktivierung bestehender Rutschungen ist ferner kennzeichnend für die Fallbeispiele Nr. 2 (Chamoson), 3 (Plaffeien), 4 (Adelboden), 10 (Beckenried) und 11 (Attinghausen).

IIIa) Stabilisierte bis substabile, v.a. flach- oder mittelgründige Rutschungen

In der Gemeinde Schänis entwickelte sich am 13.5.1999 aus der Reaktivierung einer bestehenden, mittelgründigen Rutschung eine Hangmure. Das Ereignis trat unvermittelt ein und zerstörte im Gebiet Rufi eine Alpstrasse. Der Untergrund wird im Ablösegebiet aus Molassemergel überlagerndem Gehängeschutt aufgebaut. Die Ursache der Reaktivierung liegt in der starken Vernässung bzw. Verflüssigung des Schuttens auf den als Stau- bzw. Gleithorizont wirkenden Mergeln.

IIIb) Wenig aktive oder periodisch aktive, v.a. tiefgründige Rutschungen oder Sackungsmassen

Im Frühjahr 1999 wurden von verschiedenen, teils über längere Zeiträume überwachten oder regelmässig kontrollierten Rutschgebieten beschleunigte Bewegungen gemeldet. Das Fallbeispiel Nr. 10 (Beckenried NW) liefert Hinweise dazu, dass verstärkte Bewegungen teilweise bereits im niederschlagsreichen Spätherbst 1998 eingesetzt haben dürften.

Aus dem Einzugsgebiet der Gürbe (Zentrums-Koord.: 603'500/176'200) im Raum Gurnigel-Gantrisch (BE), dessen Grunddisposition (Geologie) dem nur rund 15

km WSW gelegenen Fallbeispiel Nr. 3 (Plaffeien - Hohberg) vergleichbar ist, wurden im Frühling von Forstkreisen stellenweise massive Hangdeformationen (Absenkungen, Aufwölbungen) und -bewegungen von bis zu 20–30 m sowie zahlreiche Rissbildungen in bislang substabilen Rutschmassen festgestellt. Die Bewegungen gingen verbreitet erst im Sommer zurück.

Eine betragsmäßig wesentlich geringere, aber dennoch deutliche Beschleunigung ist von der tiefgründigen Rutschung im Hänislehenwald oberhalb Burglauenen im Tal der Schwarzen Lütschine dokumentiert. Während die tiefgründige, rund 800'000 m³ umfassende Rutschmasse sich in den Vorjahren mit ca. 10 cm/Jahr bewegte, nahm die Geschwindigkeit im Zeitraum zwischen Frühjahr und Herbst 1999 auf ca. 20–30 cm/Jahr zu. Gleithorizont bildet die schlecht durchlässige Grundmoräne, auf welcher der überwiegend kohäsionslose Gehängeschutt aus dem Dogger der Wildhorn-Decke talwärts gleitet.

Eine etwas andere Form der Aktivierung erfuhr das Rutschgebiet im Hirschgraben (Koord. 621'250/182'250) am Zulgbach in der Gemeinde Oberlangenegg (BE), als am 1. März 1999 aus fluviatilen Schottern in der Ostseite der bestehenden Anrissnische spontan Material in der Größenordnung von 45'000 ± 20'000 m³ vermutlich auf Molassemergeln abglitt und sich unter starker Wassersättigung talwärts bewegte. Grosse Lockergesteinsmassen gerieten dort letztmals während der ergiebigen Niederschläge im Sommer 1987 (23./24. Juni) in Bewegung. Dies führte zu einem Rückstau der Zulg auf 500 m Länge und bis zu 13 m Tiefe, woraus eine reale Gefährdung des flussabwärts liegenden Siedlungsgebietes von Steffisburg (bei Thun) erwuchs.

IV Bewegungen von Felsmassen

Charakteristik/Kinematik:

- Hangpartien aus Fels, welche zumeist auf klar definierten Trennflächen (Schieferungs-, Schicht-, Bruch- oder Kluftflächen) oder Zonen solcher Flächen talwärts gleiten.
- Hangpartien aus Fels, welche sich auf Schwächezonen (gebräche, entfestigte, oft weniger kompetente Felspartien) bewegen.

IVa) Bewegungen auf klar definierten Trennflächen

Durch den anhaltenden schneeschmelze- und niederschlagsbedingten Eintrag von Wasser bauten sich im Frühjahr 1999 auf Trennflächensystemen (Schieferungs-, Schicht-, Kluft- und Bruchflächen) einerseits zum Teil erhebliche hydrostatische Wasserdrücke auf. Andererseits führte in den Gebirgskörper einsickerndes Wasser zu reduzierten Scherfestigkeitseigenschaften auf potenziellen Gleitflächen (z.B. in tonig-mergeligen Schichtfugen).

Charakteristisch dafür sind das Fallbeispiel Nr. 15 (Ebnat Kappel) sowie folgende Ereignisse aus dem Raum Oberhasli–Grimsel:

- Auf der steilen, teils bewaldeten und teils von Felswänden durchzogenen, stark beschatteten Südseite des Haslitals lösten sich am 17. August 1999 bei Balm bei Meiringen rund 700–900 m³ plattige Felspartien auf einer mit 42–55° gegen das



Fig. 12: Abgeglittene Granitplatten an der Grimselpassstrasse.

Tal zu abtauchenden Schichtflächen (Koord. 655'300/174'920). Über ein steiles, nur wenige Meter hohes Felsband abstürzend, kam die Sturzmasse grösstenteils im darunter liegenden Waldgebiet zum Stillstand. Einzelne Blöcke sprangen jedoch bis in den Hangfußbereich, wo ein 13 m^3 grosser Block erst auf der zu einem bewohnten Weiler führenden Gemeindestrasse zum Stillstand kam. Bemerkenswert ist der Zeitpunkt des Ereignisses inmitten des Hochsommers, nachdem die Schneeschmelze im unmittelbaren Einzugsgebiet weitgehend abgeschlossen war. Es wird vermutet, dass die anhaltend hohe Wassersättigung des Untergrundes auf der stark beschatteten Talflanke bis weit in den Sommer hinein nicht abgebaut und durch Zuflüsse aus zahlreichen Rinnalen aus höheren Hanglagen stets weiter alimentiert worden war.

- Ein ähnliches Ereignis wurde im Juni 1999 auf der Nordwestseite der Engelhörner bemerkt, dürfte allerdings bereits im Frühling eingetreten sein (Gemeinde Schattenhalb, Koord.: 656'500/171'700). Dabei stürzten etwa $6'000\text{--}8'000\text{ m}^3$

massige Kreidekalke in den Schwandgraben und füllten diesen mit bis zu 500 m³ grossen Blöcken (Verklausungsgefahr bei Hochwasser). Die massigen Kalke lösten sich längs talparalleler, offener Klüfte auf mittelsteil gegen Nordwesten zu, d.h. talwärts abtauchenden Schichtflächen. Als auslösender Faktor ist auf die erwähnten Trennflächen einsickerndes Schmelzwasser zu betrachten (Festigkeitsreduktion auf basaler Schichtfläche sowie hydrostatischer Wasserdruck).

- Für diesen Ereignistypus kennzeichnend ist auch das Abgleiten zahlreicher Granitplatten auf mittelsteil talwärts fallenden Trennflächen in künstlichen Hangeschnitten im Fels längs der Grimselpassstrasse. Fig. 12 zeigt abgeglittene Granitplatten, welche sich während der Schneeschmelze aus dem Gebirgsverband lösten.

Bemerkenswerterweise reagierte die seit 1929 überwachte, langsam und stetig mit ca. 30 mm/Jahr gleitende Felsrutschung “Grätli” (Schynige Platte, Gsteigwiler) praktisch nicht auf die extreme Nässe des Jahres 1999. Der Grund liegt darin, dass der einer mergeligen Gleitfläche aufliegende Malmkalk (ca. 300'000–500'000 m³) stark zerklüftet und sehr durchlässig ist. An der Basis des geklüfteten Kalkes wurden wohl Feuchtstellen festgestellt, es konnte sich jedoch kein grösserer Wasserdruck aufbauen (Keusen 2000).

IVb) Bewegungen auf Schwächezonen, teils in Kombination mit Typ IVa.

Am 20. April 1999 lösten sich bei Falchern (Gemeinde Schattenhalb) auf der Südseite des Haslitals aus seit Jahren als potenziell absturzgefährdetem, versacktem Mergelkalk bis massigem Kalk, rund 500 m³ Material (Koord.: 655'800/173'700, Kote 1280–1290). Das Abrissgebiet ist gekennzeichnet durch bis zu 40 m hohe Felstürme, welche schiefrigen, teils entfestigten Mergeln auflagern. Bergseits sind sie durch klaffende, teils begehbarer Spalten vom bergseitigen Gebirge abgetrennt. Das Material stürzte durch die steile bewaldete Flanke talwärts und kam nach einer Strecke von mehr als 0.5 km ca. auf Kote 940 zum Stillstand.

Als unmittelbarer Auslöser für das Ereignis ist die witterungsbedingt starke Durchnässung und Entfestigung des geotechnisch sensiblen, mergeligen Fusses bei gleichzeitig erhöhten Wasserdrücken auf den bergseitigen Trennflächen zu betrachten.

Ähnliches führte auch zum Ereignis inmitten des Siedlungsgebietes von Wolhusen (LU): An einer steilen, von geringmächtigem Lockergestein bedeckten Böschung im Molassefels löste sich am 15. Mai 1999 eine flachgründige Rutschung, begleitet von Felsabbrüchen aus stark verwittertem, einer weichen und zurückwitternden Mergelschicht auflagerndem Molassesandstein. Dabei wurde die am Hangfuss vorbeiführende Kantonsstrasse mit rund 1'000–1'500 m³ Material eingedeckt. Trotz unmittelbarer Nachbarschaft zum Bahnhof und anderen bewohnten Gebäuden kamen dabei keine Personen zu Schaden und es entstanden nur relativ geringe Sachschäden. Neunzehn Personen wurden jedoch vorsorglich evakuiert.

Die Ursache des Ereignisses dürfte in Wasseraustritten aus dem horizontal liegenden, massigen, verwitterten und stark geklüfteten Molassesandstein begründet sein. Die durch eine als Stauer wirkende Mergelschicht begünstigten Kluftwasser-austritte an der Basis der Sandsteinpartie führten zu einem übermässigen Wasser-eintrag in den Hang und entsprechend zur Destabilisierung des Lockergesteins, begleitet von Abbrüchen aus dem Molassefels.

Nahezu identische Mechanismen wurden verschiedenenorts beobachtet, so auch bei einem kleinen Felssturz bei Breitlohn (Toffen), auf der orografisch linken Seite des Gürbetal. Am 26. April 1999 erfolgte aus einer aus Molassesandsteinen aufgebauten Felswand ein kleiner Felssturz (ca. 100 m³). Die Ursache liegt ebenfalls im Aufbau von Wasserdrücken auf den Klüften des massigen Sandsteins über einem zurückwitternden, undurchlässigen Fuss von Molassemergeln.

Am 10.5.1999 brachen am "Brochne Turm" (Wengen) einige 100 m³ Fels ab. Dank der vorhandenen Schutzdämme waren an der Bahnstrecke Wengen - Kleine Scheidegg keine Schäden zu verzeichnen. Der Felssturz stand allerdings nicht in einem direkten Zusammenhang mit den aussergewöhnlichen Witterungsverhältnissen des Jahres 1999. Seit Jahrzehnten erfolgten hier immer wieder derartige Ereignisse. Sie sind in der besonderen geologischen Situation (ähnlich "Grätli", Schynige Platte, siehe oben) begründet. Der Bewegungsmechanismus besteht aus einer Kombination von Kippen und Gleiten, welche zu einem Zerreissen des Felsturmes führen. Bewegungen von Felspartien auf sich entfestigender oder zu Festigkeitsverlusten neigender Unterlage sind im Fallbeispiel Nr. 8 (Innertkirchen) dargestellt.

6. Die besonderen Ursachen der Hanginstabilitäten von 1999

6.1 Zusammenhänge

Im Jahr 1999 haben sich nicht nur Lawinen, Hochwasser, sondern auch Rutschungen und Murgänge in einem gehäuften Ausmass ereignet. Dabei fällt weniger die ausserordentliche Grösse einzelner Ereignisse auf, sondern vielmehr deren flächendeckendes Auftreten auf der gesamten Alpennordseite der Schweiz. Nicht nur die Voralpen, sondern auch Mittelland und Jura waren betroffen, währenddem die Alpensüdseite weitgehend verschont blieb.

Derartige Extremjahre verlangen nach einer Erklärung der Zusammenhänge: Welches sind die Ursachen für die extrem häufigen Hanginstabilitäten? Wie sind diese Ereignisse statistisch einzuordnen? Welche Lehren sind für die Zukunft zu ziehen?

Eine solche Analyse der Hanginstabilitäten ist dabei ungemein schwieriger als bei den meteorologisch bedingten Lawinen und Hochwässern, wo langjährige Messreihen bestehen. Massenbewegungen haben neben den Witterungseinflüssen kausal wichtige geologische Faktoren und sind damit schwerer analysierbar.

6.2 Die Massenbewegungen von 1999 im historischen Vergleich

Mangelnde Überlieferung und schlechte Datenlage

Im Gegensatz zu Erdbeben, Vulkanausbrüchen, Hochwässern, grossen Lawinen und Stürmen haben Rutschungen in der Regel – abgesehen von Bergstürzen oder grossen Murgängen – relativ geringe Schadenwirkungen. Im Bericht *KATANOS 1995* sind die Risiken durch Massenbewegungen entsprechend klein dargestellt und die Versicherungen wurden erst seit Falli Hölli (1994) auf dieses Thema aufmerksam. Es verwundert daher nicht, dass Hanginstabilitäten – ausser sie hinterlassen einmal grosse Schäden – sich in der Erinnerung des Menschen kaum festsetzen und nicht über längere Zeit überliefert werden. Es ist deshalb sehr schwierig, geologisch bedingte Massenbewegungen generell statistisch zu erfassen und einzuordnen.

Die Aufzeichnung der in den letzten 300 Jahren in den Alpen erfolgten Bergstürze ($> 1 \text{ Mio m}^3$ Ausbruchmasse) zeigt ca. 16 grosse Ereignisse, d.h. durchschnittlich alle 20 Jahre eines (Keusen et al. 1998). Signifikante Häufungen sind dabei nicht zu erkennen.

Pfister (1999) kann in seiner 500 Jahre zurückgreifenden Klima- und Naturkatastrophenanalyse kaum Aussagen zu Massenbewegungen machen, sicher mangels Überlieferung solcher Ereignisse.

Das Verhalten bekannter Rutschgebiete im längeren zeitlichen Zusammenhang

Diese lückenhafte Datenlage über vergangene Ereignisse zwingt, will man das Jahr 1999 statistisch einordnen, zu einem anderen Vorgehen. Dabei wird versucht, das Verhalten von seit langem bekannten Rutschgebieten in einen längeren zeitlichen Zusammenhang zu stellen. Es wird sich zeigen, dass die Angabe einer Jährlichkeit unmöglich ist, auch wenn sich einzelne Anhaltspunkte über die Bedeutung des Jahres 1999 herauskristallisieren.



Fig. 13: Der 1889 aufgeschüttete Kegel (Volumen ca. $100'000 \text{ m}^3$) beim Spissbach (siehe Kasten Seite 32). Rutschungen im oberen Einzugsgebiet des Baches führten zu Murgängen, welche das Erdmaterial zum Talboden transportieren. 1999 begann unmittelbar südlich ein ähnlicher Prozess, allerdings mit geringeren Ausmassen. Die Bewegungen sind auch heute noch, ein Jahr später, im Gange.

Der Bergsturz und Erdrutsch beim Spissbach im Mai 1889 (aus Michel 1979)

Darüber berichtete Unterförster Fritz Steiner:

Der Winter 1888/89 zeichnete sich durch einen ungewöhnlichen Schneereichtum aus; besonders der März 1889 war ein strenger Wintermonat, wie der März 1939. Darauf folgte ein ebensolcher im April; meterhoch lag der Schnee, die Kälte war gross, der Winter wollte kein Ende nehmen. Riesige Schneemassen bedeckten die Höhen.

Anfangs Mai trat überraschend Witterungswechsel ein, warmes, föhniges Wetter, die Schneeschmelze begann auf einmal, alle Bäche führten Hochwasser. Dazu kam eine Warmregenperiode von einigen Tagen. Schneeschmelze und Regenzeit bewirkten zusammen eine jäh Übersättigung des Bodens mit Wasser, womit an besonders ausgesetzten Stellen die Gefahr des Rutschens gegeben war.

Eine Viertelstunde südlich des Dorfes Lauterbrunnen befinden sich am linken Lütschinenufer die Heimwesen von «Spiss» und «Hofstatt». Unmittelbar über diesen, obenhier der hohen, senkrechten Fluh, auf Gebiet der Alpsschaft Winteregg, stand ein Waldbezirk von alten, ausgewachsenen Tannen. Seit Jahren schon hatten sich in diesem Wald Risse gezeigt, was auf eine gewisse Abrutschgefahr hindeutete. Dieser Gefahr wurde denn auch etwelche Beachtung geschenkt; jedoch gingen die Meinungen der Fachleute auseinander. Man war sich nicht einig, ob der stehende Wald eine etwaige Katastrophe aufhalten könnte, oder ob ein Kahlschlag mit sofortiger Neuanpflanzung einen wirksameren Schutz bilden würde. Die Absturzstelle befindet sich auf einer dunkelblauen, stark lehmigen Schicht, wie sie sich fast auf der ganzen Fluh hinzieht (von Grüttschlap südwärts bis vor Mürren), eine ganz wasserundurchlässige Erdschicht. Der aufmerksame Beobachter kann denn auch in früheren Jahrhunderten erfolgte grosse Erdrutschgebiete längs der ganzen Felswand bis zum Dorf Lauterbrunnen feststellen Spissbühl, Staubbachbachhubel, beim Gräbli, Herrenbachhubel, Schlammbalmhubel.

Es war am 11. Mai. Der Tag war ausgefüllt mit dringenden Feldarbeiten, obwohl das Wetter regnerisch war. Der Abend versprach wiederum eine ergiebige Regennacht. Tief hingen die Wolken zu Tale, eine undurchdringliche Finsternis gab der Nacht ein düsteres, schicksalsschweres Gepräge. Die Bewohner des Tales hatten sich eben nach hartem Tagwerk zur wohlverdienten Ruhe begeben. Im ersten Schlummer wurden sie plötzlich durch ohrenbetäubenden Lärm aufgeschreckt. ...

Sucht man in der Vergangenheit nach Rutschereignissen grösseren Ausmasses stösst man unweigerlich auf das Katastrophenjahr 1910. Dieses Jahr begann mit grossen, durch einsetzende Schneeschmelze und Niederschläge verursachten Überschwemmungen Ende Januar. Im Mai, Juni und Juli ereigneten sich dann zahlreiche grosse Rutschungen und Murgänge, so in Sörenberg (LU), am Rossberg (SZ), in Glöcheret bei Attinghausen (UR), Zell (LU, 4 Tote), Belfaux (FR), Teufen (AR), Altdorf (UR, 11 Tote), Beckenried NW). Einzelne dieser Orte (Sörenberg, Beckenried, Attinghausen) machten auch 1999 wieder durch Hanginstabilitäten auf sich aufmerksam.

Parallelen des Jahres 1999 ergeben sich auch zum Jahr 1889. In beiden Jahren waren die grossen Rutschgebiete Spissbach und Gryfenbach bei Lauterbrunnen aktiv. Auch 1951, nach dem Lawinenwinter 1950/51, wurden vermehrt Reaktivierungen von Rutschungen festgestellt (z.B. im Gebiet der Gürbe im Gebirge (BE)).

Auf der andern Seite zeigt die Analyse von Weesen (SG), das hier vor 1999 in den Jahren 1814, 1896, 1906, 1923, 1942 und 1965 ähnliche Rutschereignisse mit nachfolgenden Murgängen stattfanden. Das Jahr 1999 ist dabei nicht ausserordentlich und reiht sich in eine grössere Zahl von ähnlichen Ereignissen ein.

Viele alte "schlafende" Rutschungen wurden 1999 reaktiviert oder sie beschleunigten sich, so bei Braunwald (GL), Burglauenen bei Grindelwald (BE), Hohberg (FR), Glöcheret bei Attinhgausen und wiederum im Einzugsgebiet der Gürbe im Gebirge (BE). Andere seit langem aktive Gebiete wie Schynige Platte (BE, Keu-

sen 2000) zeigten keine Reaktion. Auffallend wenig Rutschungen ereigneten sich in Grindelwald, einem bekannten Rutschgebiet.

Dass auch grosse Rutschungen über sehr lange Zeit inaktiv sein können, illustriert Schänis (SG): Eine durch die Rutschung 1999 zu Tage geförderte, früher verschüttete Weisstanne ergab ein Lebendalter von 806–1116 (Figur 14).

Diese Zusammenstellung zeigt, dass es schwierig ist, Hanginstabilitäten statistisch zu bewerten und in einen grösseren zeitlichen Kontext einzuordnen. Zum Teil reagieren bekannte instabile Rutschgebiete kaum oder nur verhalten auf die nasse Witterung des Jahres 1999. Andere Ereignisse von 1999 wiederum reihen sich ein in “normale” und ortstypische Prozesse mit relativ kurzer Wiederholdauer. Und des Weiteren sind absolut übermässige Reaktionen nach längeren Ruhezeiten zu beobachten.

Es kristallisieren sich aber deutlich die Jahre 1889, 1910, 1951 und 1999 als solche mit erhöhten Aktivitäten von Hangbewegungen heraus. In diesen Jahren herrschten ähnliche Witterungsverhältnisse. Diese zeichneten sich durch lange, nasse und strenge Winter, relativ kalte Frühsommer und späte Schneeschmelzen aus. Die häufige Kombination von Lawinenwinter, Überschwemmungen und Hanginstabilitäten ist augenfällig.

6.3 Ursache der Massenbewegungen 1999

Wie in Kapitel 5 ausgeführt, ist Wasser mit seiner vielfältigen Wirkungsweise treibende Kraft und Auslöser von Hanginstabilitäten. Wasser war auch bei den Ereignissen von 1999 der massgebliche Faktor. Und Wasser war denn auch in reichlichen Mengen vorhanden. Über diese banale Feststellung hinaus interessieren aber die Fragen, warum gerade 1999 eine solche Häufung von Hanginstabilitäten zu verzeichnen ist und welche witterungsbedingten Einflüsse derartige Naturprozesse im Speziellen begünstigen. Beim Nachgehen dieser Fragen soll nicht noch einmal auf die unterschiedliche und komplexe Vielfalt der geologischen Disposition zu Massenbewegungen eingegangen werden. Vielmehr geht es um die offensichtlich 1999 dominierenden Witterungsfaktoren.

Bei der Statistik der Hanginstabilitäten fallen zwei Häufungen auf (siehe Fig. 5): Ende Februar und Ende April–Mai 2000.

Ausserordentliche Nässe

1999 fielen 125 bis 140 Prozent der normalen Niederschläge. Mit 1'340 mm Jahresniederschlag (Mittelland) gehört das Jahr zu den niederschlagsreichsten der letzten 135 Jahre. In nur drei Jahren, nämlich 1910, 1922 und 1965 wurden mehr als 1'400 mm Niederschlag gemessen.

Nasse Winter

Hanginstabilitäten – insbesondere auch jene von 1999 – treten gehäuft im Frühjahr oder Frühsommer auf. Ein Zusammenhang mit dem vorangegangenen Winterhalbjahr ist damit naheliegend. Im Winter ist die Verdunstung relativ gering und die den Wassereintrag in den Untergrund verminderte Wirkung der Vegetation ist erheblich reduziert. Niederschläge im Winter werden deshalb zu einem grossen

Teil früher oder später abflusswirksam (mit Abfluss ist sowohl der unterirdische, über die Versickerung stattfindende, wie der oberirdische gemeint).

Der Winter 1998/99 war durch eine ausserordentliche Nässe geprägt. Bereits im September bis November 1998 fielen weit über der Norm liegende Niederschlagsmengen (total 357 mm). Der Winterniederschlag (Dezember 1998 bis Februar 1999) betrug dann aber nur 183 mm, im Vergleich dazu 1909/1910 401 mm (Höchstwert der letzten 140 Jahre). Extrem nass und kühl waren der April und Mai 1999 (345 mm). Die Werte gelten für das Mittelland.

In den Alpen fielen Ende Januar und Mitte Februar grosse Schneemengen (siehe Abschnitt 2), welche grosse Schadenlawinen zur Folge hatten.

Der Wasserwert der Schneedecke (Schneewasseraquivalent)

Im April 1999 erreichte der Wasserwert der Schneedecke auf dem Schreckfeld (Grindelwald, 1'950 m ü.M.) 1'400 mm (Figur 15). Im Schnee war demzufolge praktisch die Menge eines ganzen Jahresniederschlags gespeichert. Dieser Wert ist sehr hoch, aber nicht ausserordentlich. Von Bedeutung sind aber zwei Feststellungen:

- Das Maximum des Wasserwertes des Schnees wurde sehr spät, erst gegen Ende April erreicht. Ursache dafür waren noch bis spät in den Frühling anhaltende Schneefälle.
- Nach Ende April baute sich der Wasserwert innerhalb etwa eines Monats vollständig ab. In dieser kurzen Zeit wurden damit grosse Wassermengen freigesetzt. Diese wurden weitgehend unterirdisch und oberirdisch abflusswirksam. Noch vor Ende der vollständigen Schneeschmelze wurde der Wasserwert durch intensive Niederschläge in Form von Regen und Schnee erneut alimentiert.

Die rasche Freisetzung des Schmelzwassers wurde bei den Karstwasseraustritten von Jaun (siehe Umschlagbild) besonders augenfällig. Hier traten in der Zeit vom 12. bis 17. Mai 1999 grosse Wassermengen aus den anstehenden Kalken. Das eindrückliche Ereignis war letztmals 1935 nach einem strengen Lawinenwinter beobachtet worden.

Die Ursachen der ausserordentlichen Häufung der Massenbewegungen von 1999 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- a) Weit über dem Durchschnitt liegende Niederschlagsmengen, insbesondere im Winterhalbjahr 1998/1999 (September 1998 bis Juni 1999). Bereits im Spätherbst 1998 erfolgte ein erheblicher Wassereintrag in den Untergrund.
- b) Relativ kühle Temperaturen bis Ende April und damit eine bis spät in den Frühling erhaltene mächtige Schneedecke mit grossen Wasseräquivalenten. Dies gilt für höhere Lagen in den Alpen. Ende Februar hatte ein mit anhaltenden Niederschlägen verbundener Tauwettereinbruch in tieferen Höhenlagen verbreitet zu starker Schneeschmelze geführt.
- c) Späte und rasche Schneeschmelze. Rascher Abbau der Schneedecke nach Ende April und damit schnelle Freisetzung grosser Wassermengen.

Insbesondere die späte, dafür aber umso intensivere Schneeschmelze, gekoppelt mit starken Niederschlägen, erscheint Hauptursache der gehäuften Massenbewe-

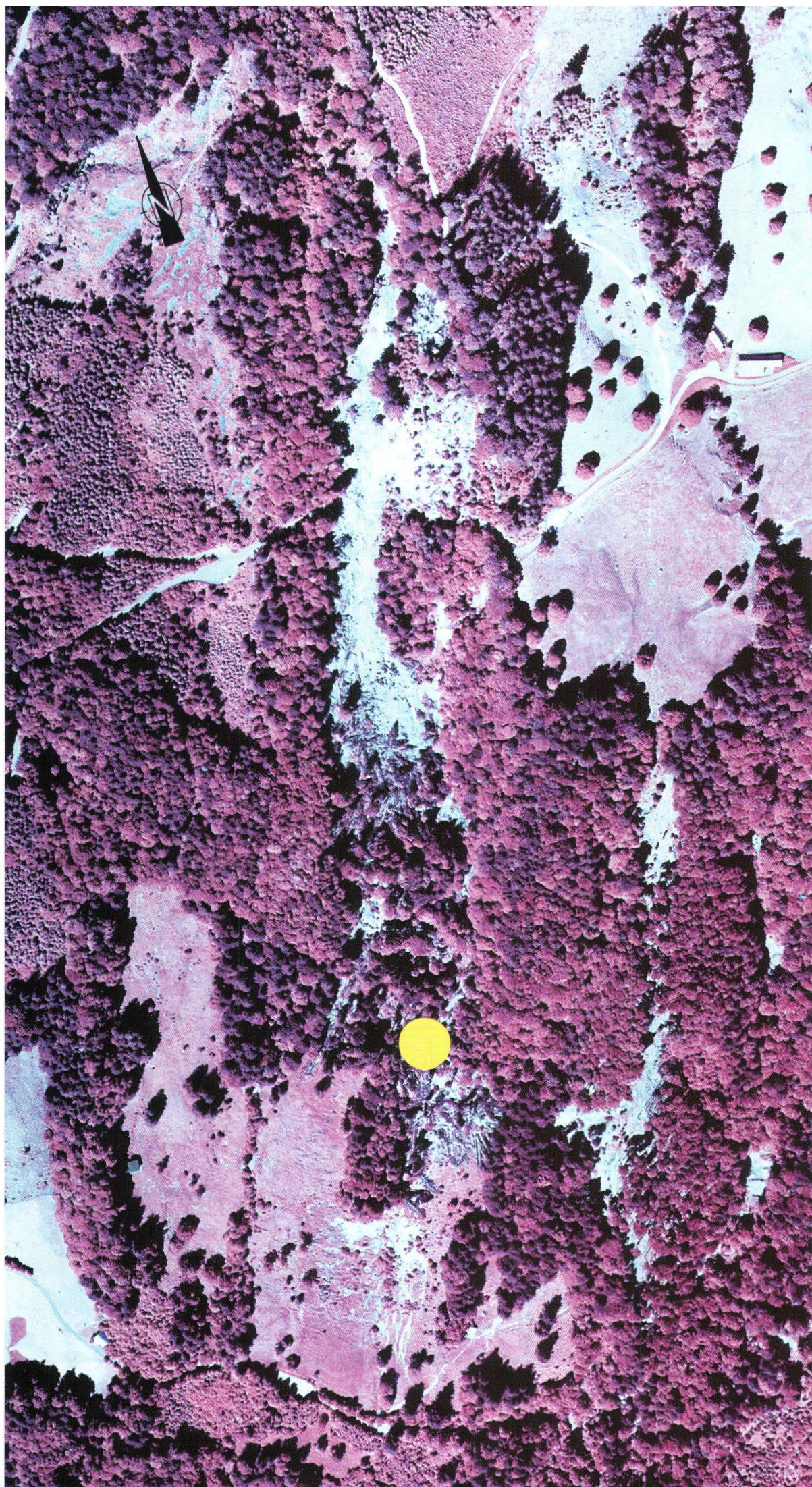


Fig. 14: Die Rutschung Rüfi (Schänis). ● Fundstelle *Abies alba*, Alter 800 Jahre. Infrarottflugaufnahme vom 14.2.2000.

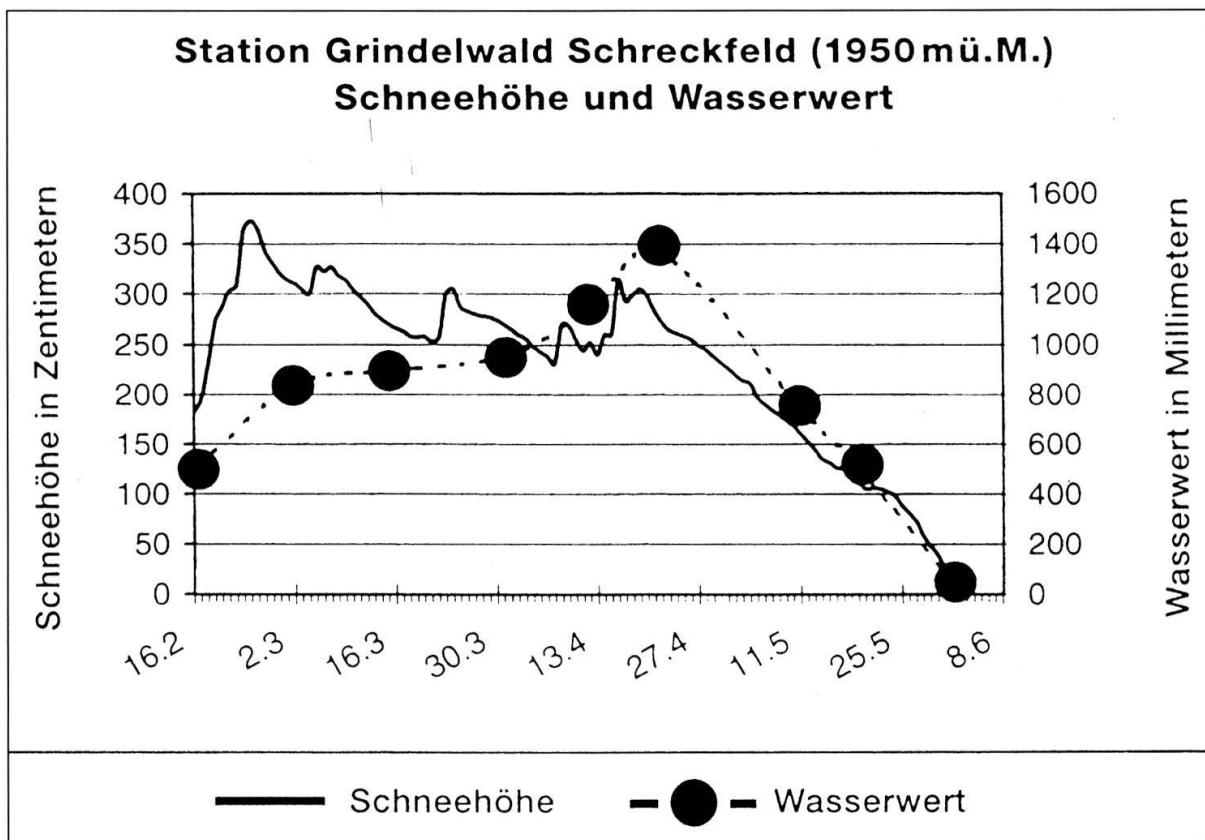


Fig. 15: Station Grindelwald, Schreckfeld. Schneehöhen und Schneewasseraquivalente in der Zeit vom Februar bis Juni 1999. Aus: Oberingenieurkreis 1 (1999).

gungen ab Mitte Mai 1999. Die erste Phase von Ende Februar der insbesondere im Mittelland, dem Jura und den Voralpen verbreiteten Hanginstabilitäten ist auf einen niederschlagsreichen und von Schneeschmelze begleiteten Tauwettereinbruch zurückzuführen.

7. Folgerungen

Wie bei den Hochwassern von 1999 muss man bis ins Jahr 1910 zurückgreifen, um vergleichbare Ereignisse an Hanginstabilitäten zu finden. 1999 ist damit gewissermassen ein "Jahrhundert-Rutschjahr". Wie auch bei den Hochwassern führte eine bestimmte witterungsbedingte Konstellation mit einer Überlagerung von Niederschlägen und Schneeschmelzen zur Häufung der Rutsch- und Murgangereignisse von 1999. Es ist abzusehen, dass es auch in Zukunft wieder klimatische Situationen geben wird, welche Hanginstabilitäten begünstigen. Aus dieser Einsicht sind Lehren zu ziehen mit dem Ziel, besser auf solche Gefahrenlagen vorbereitet zu sein.

Verbesserung der Gefahrenanalyse

Neben der gewissermassen erwarteten Intensivierung oder Reaktivierung von bestehenden, bekannten Rutschgebieten ereigneten sich zahlreiche spontane und unerwartete, meist lokale und kleinere Hanginstabilitäten, insbesondere in Form von

Hangmuren oder Felsstürzen. Solche Ereignisse können für Menschen und Sachwerte gefährlich sein. Die Erarbeitung von *Gefahrenkarten*, in welchen für derartige Ereignisse disponierte Gebiete ausgeschieden werden, ist wichtig und notwendig. Die Analyse des Gefahrenpotentials Hanginstabilität kann sich dabei aber nur teilweise an früheren Ereignissen oder “stummen Zeugen” orientieren (*Ereigniskataster*). Vielmehr hat sie die geologischen (Aufbau und bodenmechanische Charakteristika des Lockergesteinsuntergrundes, Lage der Felsoberfläche) und die hydrogeologischen Gegebenheiten (Hangwasserverhältnisse) in ihrem dreidimensionalen Kontext zu erfassen.

Die Prozesse Hangmure und spontane Auslösung von flachgründigen Rutschungen werden noch nicht genügend verstanden. Hier besteht Untersuchungsbedarf im Hinblick auf eine verbesserte Einschätzung der geologischen Disposition für solche Prozesse.

Verbesserung der Schutzkonzepte

In Gebieten, die eine erhöhte Disposition zu Prozessen von Hanginstabilitäten (v.a. die spontane Entstehung von Hangmuren und flachgründigen Rutschungen) aufweisen, ist eine Schadenverhütung bzw. -verminderung durch raumplanerische Massnahmen oder bauliche Vorkehrungen (Objektschutz) sicherzustellen.

Verbesserung von Warnung und Vorhersage

Im Gegensatz zur Lawinen- und Hochwassergefahr ist die von Hanginstabilitäten ausgehende Gefahr verborgen und für den Laien wenig offensichtlich. Die Behörden müssten gezielt auch für diese Gefahren sensibilisiert werden.

Frühwarndienste

Gerade bei Hanginstabilitäten können Messungen wichtige Erkenntnisse bezüglich der Dynamik in Abhängigkeit von klimatischen Bedingungen liefern. Derartige Frühwarndienste sind vor allem auch in den bekannten Rutschgebieten wichtig. Sie können helfen, zunehmende Gefahrenlagen zu erkennen und zu analysieren.

Mit diesen Instrumenten können auch für den schwierigen Naturprozess Massenbewegungen Prozessverständnis, Prognosen und Schutzmassnahmen verbessert werden. Wegen der ausgeprägten geologischen Kausal faktoren von Hanginstabilitäten (Scherfestigkeit, Porenwasser), welche örtlich stark variieren, wird dieser Prozess aber immer wieder Schwierigkeiten bezüglich des Findens möglichst wahrer Modelle bereiten.

Literaturverzeichnis

BWG 2000a: Hochwasser 1999 – Analyse der Ereignisse- Studienbericht Nr. 10, Bundesamt für Wasser und Geologie BWG, Biel, 1-148.

BWG 2000b: Hochwasser 1999 – Analyse der Messdaten und statistische Einordnung. – Hydrologische Mitteilungen der Landeshydrologie und -geologie Nr. 28, Bundesamt für Wasser und Geologie BWG, Bern, 1-115.

- HEGG, CH., BADOUX, A., GRAF, CH. & RÖTLISBERGER, G. 2000: Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 1999, Wasser, Energie und Luft, Heft 3/4, 59-68.
- KATANOS 1995: Katastrophen und Notlagen in der Schweiz. Bundesamt für Zivilschutz.
- KEUSEN, H.R. 2000: Schynige Platte, Jungfraugebiet – Langzeitbeobachtungen an einer grossen Felsbewegung. – Felsbau 18/3, 56–62.
- KEUSEN, H.R., BOLLINGER, D., LATELTIN, O. & BEER, CH. 1998: Massenbewegungen und ihre geologische Beurteilung. – Bull. angew. Geol. 3/1, 11–28.
- MICHEL, H. 1979: Buch der Talschaft Lauterbrunnen.
- OBERINGENIEURKREIS 1 1999: Bulletin vom 9.6.1999, Kantonale Arbeitsgruppe Schnee-Wasser.
- PFISTER, 1999: Wetternachhersage. 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen (1496–1995). Verlag Paul Haupt, Bern.
- SLF 2000: Der Lawinenwinter 1999 – Ereignisanalyse, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung Davos, 1–588.

Glissement de la Chenolette (Bex-Les Plans, VD)

avec 2 figures et 1 tableau

PIERRE TULLEN¹⁾

Résumé

Le glissement de la Chenolette se manifeste dans un mélange constitué par les Wildflyschs de la Plaine Morte et des moraines remaniées. Ce glissement s'est manifesté pour la première fois le 4 mars 1999, dans un secteur non cartographié comme terrain instable. Ce déclenchement fait suite à une pluie qui est venue s'ajouter à la fonte des chutes de neiges importantes du mois de février. Cette situation hydroclimatologique défavorable correspond à une période de retours de 20 ans.

Zusammenfassung

Das Rutschgebiet von Chenolette liegt in Wildflysch und Moränenmaterial. Bisher wurde dieses Gebiet nicht als instabil kartiert. Am 4. März 1999 wurden erste Bewegungen festgestellt. Die Auslösung fand infolge einem Niederschlagsereignis statt, das durch schmelzende Schneemassen von Februar überlagert wurde. Diese ungünstige hydrologische Lage entspricht einem Wiederkehrperiode von 20 Jahre.

1. Situation

Le glissement de la Chenolette, situé en rive droite de l'Avançon, s'est manifesté le 4 mars 1999 avec l'apparition de fissures le long de la route cantonale RC 716 reliant Bex et Les Plans dans le canton de Vaud. Deux jours plus tard, la route était totalement coupée, traversée sur près de 80 m par la niche d'arrachement du glissement qui venait de prendre naissance. Ce secteur n'avait fait l'objet d'aucune étude de risque auparavant et n'est pas mentionné comme glissement sur la carte géologique Les Diablerets, (Badoux & Gabus 1990).

Canton	Vaud
Coordonnées	569'800/123'600
Type d'instabilité (selon Varnes, 1978)	Glissement translationnel
Orientation du versant	NNW
Couverture végétale	Forêt de feuillus
Superficie [m ²]	9'000
Volume [m ³]	500'000
Altitude max / min [m]	678 / 605
Longueur / largeur [m]	105 / 80
Pente moyenne (max/min) [°]	35 (38/29)

Tab. 1: Fiche signalétique.

¹⁾ EPFL DGC GEOLEP, 1015 Lausanne

2. Description

Les données de sondage, les mesures de déplacement et les relevés piézométriques présentés dans cet article proviennent d'études menées par le bureau MARIC à Aigle, mandaté par l'Etat de Vaud (Maric 1999).

2.1 Morphologie et instrumentation

Le corps du glissement de la Chenolette présente trois zones d'activité distinctes (cf. fig. 1). De part et d'autre de ces secteurs, les terrains sont également soumis à des phénomènes d'instabilité qui présentent des déplacements mensuels millimétriques.

Cinq forages carottés sont équipés pour l'inclinométrie et trois forages destructifs le sont pour la piézométrie. De plus, un réseau constitué par cinq cibles permet une mesure au laser des déplacements. Plusieurs campagnes de mesures topographiques ont également eu lieu.

2.2 Géologie

Le soubassement rocheux est constitué par les Wildflyschs de la Plaine Morte. Cette série, fortement tectonisée, présente une alternance irrégulière de schistes et de marnes plus ou moins gréseuse, avec quelques blocs et lentilles de Crétacé. Elle affleure localement dans le lit de l'Avançon et en amont de la route cantonale. A l'ouest du glissement, apparaissent des roches triasiques de la nappe de Bex comprenant des cornieules massives, et à l'est se trouvent les calcaires crétacés de la nappe d'Anzeinde.

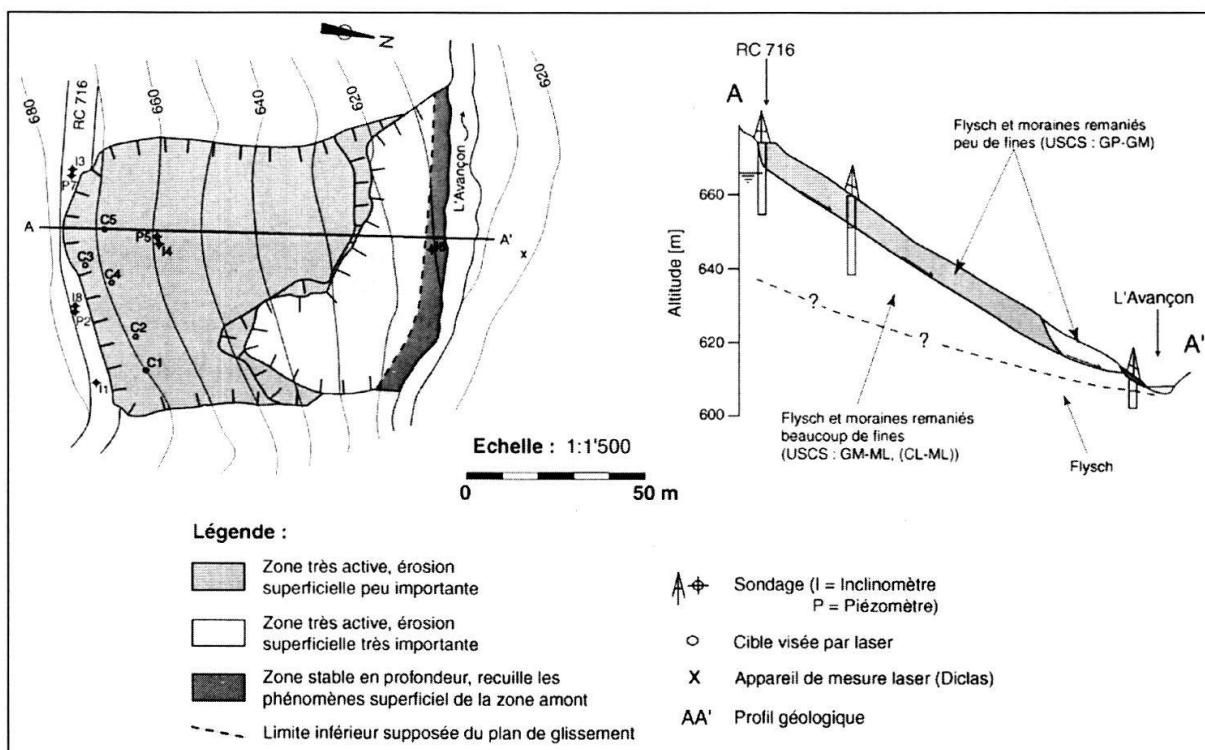


Fig. 1: Carte et coupe schématique du glissement (d'après Maric, 1999).

La masse glissée correspond à un mélange de flysch et de moraine remanié, situé entre les roches triasiques et les calcaires du crétacé. L'analyse des forages montre des niveaux contenant des éléments de la taille gravier au sein d'une masse hétérogène, dont le taux de fines, très faible au droit de la masse glissée, devient de plus en plus élevé dès que l'on atteint la surface de rupture (cf. fig. 1). De plus, des intercalations d'éléments de la taille sable se trouvent disséminées dans l'ensemble de la masse. D'une manière générale, la surface de glissement semble coïncider avec la limite entre les niveaux pauvres et ceux plus riches en éléments fins.

2.3 Eaux de surface

Le réseau hydrographique concernant l'instabilité de la Chenolette n'est constitué que par la rivière Avançon qui s'écoule en pied du glissement avec un pente d'environ 12°.

2.4 Hydrogéologie

La masse instable peu perméable, contient une nappe perchée, localement productive au droit des niveaux les plus grossiers. Les mesures effectuées montrent des écoulements souterrains complexes et discontinus à travers la masse en glissement, écoulements qui semblent se concentrer près de la surface de rupture.

Les écoulements réagissent rapidement aux précipitations et peuvent se traduire par des mises en charge locales dans les niveaux les plus perméables. Les essais de perméabilité de type Lefranc, effectués dans les sondages, indiquent une hétérogénéité importante avec des valeurs moyennes se situant entre 10^{-7} et 10^{-8} m/s, mais pouvant atteindre localement des valeurs allant jusqu'à 10^{-4} m/s. Les niveaux piézométriques mesurés pendant les mois d'avril et de mai se corréleront relativement bien avec les précipitations. Des événements pluviométriques supérieurs à 15 mm/jour induisent une montée des niveaux piézométriques dans la masse en mouvement presque instantanément. Ces niveaux s'abaissent rapidement durant les deux à trois jours qui suivent des périodes sèches, pour se stabiliser sous la surface de rupture. Les pluies inférieures à 15 mm/jour n'influencent pas ces niveaux piézométriques.

3. Analyse de l'événement climatique 1998 – 1999

3.1 Analyse hydroclimatologique

Les données climatiques disponibles pour le site de la Chenolette proviennent des stations pluviométriques ISM de Bex (alt. 402 m), Les Plans (alt. 1070 m) et Gryon (alt. 1080 m) auxquelles vient s'ajouter la station de la centrale électrique de Peuffeyre (alt. 735 m), située au bord de l'Avançon à près de 2,5 kilomètres à l'amont du glissement. Les précipitations mensuelles en % de la norme de référence 1901 – 1960 est également donnée pour les trois stations ISM. La station de Peuffeyre fournit la pluviométrie et la température journalière depuis juin 1998.

Des corrélations effectuées entre les trois stations ISM et la station de Peuffeyre nous ont permis de calculer la norme standard de référence 1901 – 1960 valable pour la station de Peuffeyre. On constate que le déclenchement du glissement a été

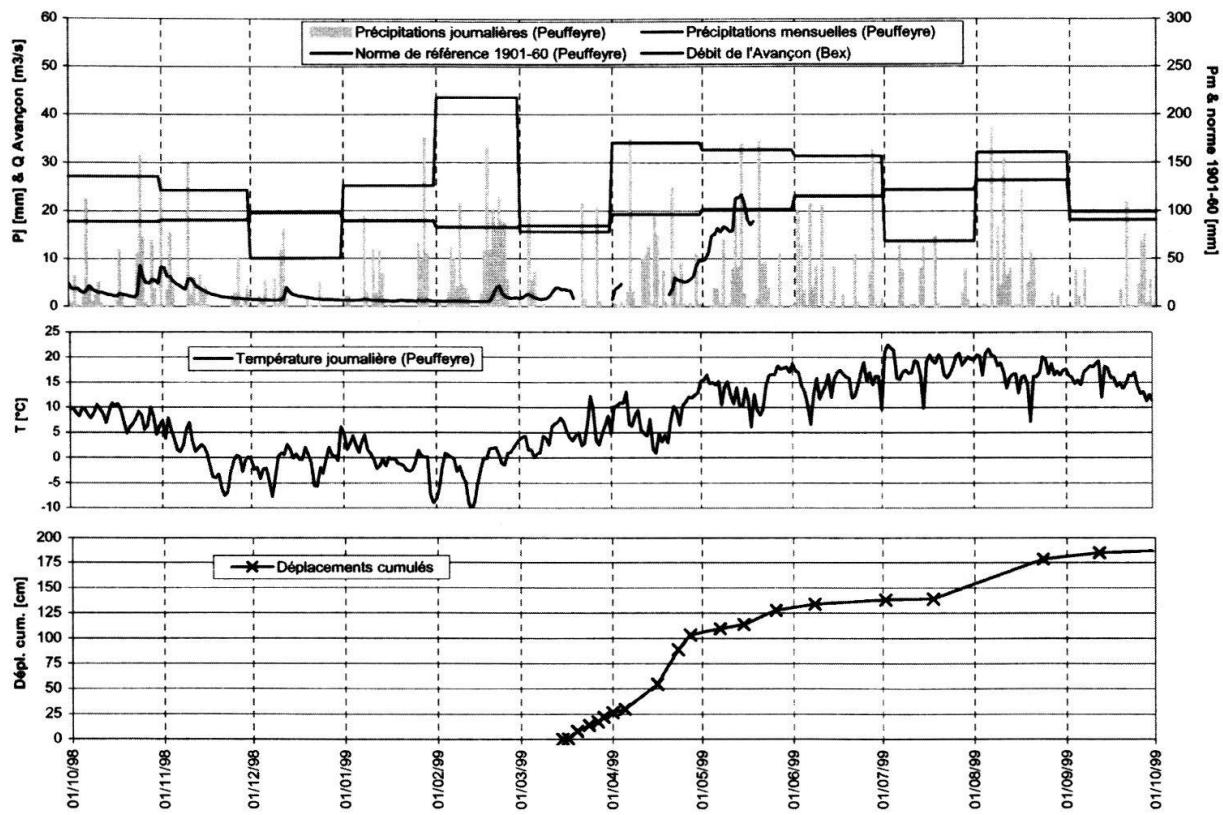


Fig. 2: Diagramme des corrélations climatologique et des déplacements.

précédé par un mois de février 1999, climatologiquement très actif, avec 218 mm de précipitations tombées sous forme de neige, soit 264 % de la norme de référence. L'analyse des valeurs extrêmes selon une loi de Gumbel nous a permis de définir une période retour moyenne de 19 ans pour cette précipitation mensuelle de février. Une analyse similaire sur les précipitations journalières montre que le jour du déclenchement du glissement, correspond à un événement pluviométrique de 20,4 mm, ce qui équivaut à une période de retour d'une année. L'infiltration a débuté le 19 février par une période de quatre jours consécutifs de fonte, avec des températures journalières comprises entre 0,8 et 2,1 °C. Une seconde période de fonte est survenue dès le 25 février avec des températures en constantes élévations jusqu'au 3 mars, atteignant des valeurs journalière moyenne de 4,3 °C. L'analyse du volume précipité durant l'intervalle du 16 au 25 février est très significative. Un ajustement de l'indice des précipitations antécédentes (IPA) nous a montré que la valeur de l'IPA maximal pour l'année 1999 est atteinte le 26 février, soit quelques jours seulement avant le déclenchement du glissement. Il faut ensuite déterminer qu'elle était la hauteur de neige sur le site de la Chenolette le jour du déclenchement de l'événement afin de déterminer l'influence réelle de la précipitation du 16 au 25 février sur le déclenchement du glissement. Cette variable n'étant pas disponible pour les stations voisines du site, nous avons dû utiliser d'autres stations ISM représentatives en Suisse romande. Cette analyse indique que l'épaisseur du manteau neigeux a rapidement diminué dès le 24 février, jusqu'à des altitudes supérieures à 1000 m. Les analyses effectuées et confirmées permettent d'affirmer que l'ensemble du volume neigeux précipité entre le 16 et le 25 février dans le secteur de la Chenolette, avait

ièrement fondu avant le déclenchement du glissement. La globalité de la précipitation neigeuse du 16 au 25 février doit ainsi être prise en compte dans l'analyse de l'événement hydroclimatologie. L'indice IPA obtenu pour le 26 mars correspond à un événement d'une période de retour de 20 ans.

L'analyse des conditions climatiques montre clairement que les causes de l'instabilité sont dues à la conjonction de plusieurs facteurs. Le site était prédisposé au glissement par des caractéristiques géologiques défavorables, ce qui implique une faible résistance mécanique et un mauvais drainage des terrains. La pluie du 4 mars se produit alors que la saturation en eau des terrains est très élevée, impliquant des mises en charge locales des niveaux contenant les éléments les plus perméables. Il faut donc considérer cette pluie comme étant le facteur déclenchant du glissement, venue s'ajouter une situation hydrogéologiques défavorable, induite par l'événement climatologique particulier du mois de février.

Une période de retours de N années indique que l'événement a une probabilité de $1/N$ de se produire chaque année. La probabilité que deux événements indépendants se produisent simultanément, vaut le produit de leurs probabilités et la fréquence de leur occurrence simultanée est égale au produit de leurs fréquences respectives. Ainsi, la fréquence de retour simultanée de l'IPA et de pluie du 4 mars correspond pour notre exemple à 20 ans. La période de retour de la précipitation mensuelle n'influence pas cette fréquence de retour simultanée car elle est intimement liée à l'indice IPA déjà pris en compte.

3.2 Dynamique du glissement

Les déplacements sont mesurés depuis le 15 mars 1999, soit près de dix jours après le déclenchement du glissement. Les vitesses de déplacements ont atteint des valeurs de l'ordre de 5,5 cm/jour durant les deux premiers mois de mesure, puis ont ralenti pour atteindre des valeurs proche du cm/jour. Ensuite, elles se sont réaccélérées durant la première quinzaine d'août, avant d'atteindre les valeurs quasi nulles, qui sont toujours mesurées aujourd'hui. Les déplacements se corrélatent bien avec les précipitations jusqu'à fin août 99. En effet, les précipitations supérieures à 15 mm/jour qui induisent les variations des niveaux piézométriques, se traduisent par une accélération brutale des vitesses de déplacement avec un décalage de deux à trois jours. Durant les périodes sèches ou pendant les événements climatologiques présentant des précipitations inférieures à 15 mm/jour, l'activité du glissement reste quasi nulle. Ces analyses mettent bien en évidence l'influence de la montée des niveaux piézométriques dans la masse glissée sur l'activité du glissement. Depuis la fin du mois d'août, l'activité du glissement s'est très fortement ralenti. La pluviométrie durant l'automne a été faible, légèrement inférieure à la norme de référence et, dès la mi-novembre, elle est tombée sous forme de neige. De plus, il faut mentionner la remise en service durant l'automne 1999 de la route cantonale qui traverse la niche d'arrachement supérieure du glissement. Cette nouvelle route est équipée de drains, ce qui améliore la stabilité du site. Il faut maintenant surveiller le comportement dynamique du glissement durant la période correspondant à la fonte des neiges au début de l'année 2000 afin de quantifier l'influence de cette reconstruction sur la stabilité générale du site.

4. Gestion du risque

4.1 Dommages produit

Les dommages d'ordre direct concernent la route cantonale RC 716, emportée sur près de 80 mètres, ce qui a partiellement isolé le village Les Plans. Les conséquences d'ordre indirect ont consisté en un aménagement de la route de Sublin, qui passe sur l'autre versant, afin de garantir un accès au village Les Plans. La forêt fut également abattue dans l'urgence sur la zone glissée, suite au déclenchement du glissement.

4.2 Travaux d'urgence effectués

Les travaux de confortation entrepris dans l'urgence consistent à l'enrochement du lit de l'Avançon au droit du glissement afin de protéger son pied de l'érosion directe par la rivière. Il s'est avéré par la suite que la surface de rupture ressort quelques mètres avant le cours d'eau.

Les mesures des déplacements du glissement sont faites par laser à intervalles réguliers. De plus, comme les piézomètres et certains inclinomètres sont toujours utilisables, il serait nécessaire de poursuivre les mesures hydrogéologiques et les mesures de déplacement. Ceci permettrait de vérifier l'influence des précipitations sur les niveaux piézométriques et sur les déplacements afin de pouvoir évaluer le nouvel état du glissement suite au travaux effectués pour la réouverture de la route cantonale.

4.3 Danger et risque

Suite au déclenchement du phénomène, un danger d'obstruction de la rivière a été mentionné. Les conséquences d'un tel événement pourraient induire un risque important pour l'usine électrique de Sublin et pour la ville de Bex située dans la vallée. Aucune mesure n'a été prise pour parer à une telle éventualité, qui ne s'est pas produite à ce jour. L'évolution actuelle du glissement semble avoir écarté, ou du moins fortement diminué, ce danger d'obstruction de la rivière. De plus, une étude sur l'évolution de la turbidité dans la rivière serait intéressante. Elle permettrait d'estimer le risque qu'elle représente sur une éventuelle usure des turbines de Sublin ainsi que sur la situation de la faune dans le cours d'eau suite au déclenchement du glissement.

Les mesures des déplacements du glissement sont faites par laser à intervalles réguliers. De plus, comme les piézomètres et certains inclinomètres sont toujours utilisables, il serait nécessaire de poursuivre les mesures hydrogéologiques et les mesures de déplacement. Ceci permettrait de vérifier l'influence des précipitations sur les niveaux piézométriques et sur les déplacements afin de pouvoir évaluer le nouvel état du glissement suite au travaux effectués pour la réouverture de la route cantonale.

5. Conclusions

Ce glissement reflète les conséquences qu'ont pu provoquer les conditions météorologiques particulières de l'hiver 1998/99 sur la stabilité d'un versant, et ce dans

une zone considérée comme peu dangereuse, qui n'avait fait l'objet d'aucune étude de risque auparavant. Cet exemple montre bien que des terrains qui présentent des prédispositions à la rupture peuvent rester inactifs durant de longues années avant de s'activer, ou de se réactiver, brutalement à la faveur d'un événement hydroclimatologique marqué.

Références

- BADOUX, H. & GABUS, J.-H. 1990: Atlas géologique de la Suisse, feuille n° 1285, 1:25'000, Les Diablerets avec notice explicative. Berne 63 pp.
- ETAT DE VAUD, SERVICE DES EAUX, SOLS ET ASSAINISSEMENTS: Données pluviométriques relevées à la station de Peuffeyre et débit de la rivière Avançon à Bex. Lausanne.
- INSTITUT SUISSE DE MÉTÉOROLOGIE: Données pluviométriques des stations de Gryon, Bex et Les Plans, & hauteur de neige des stations de Sion, Pully et Château d'Oex.
- MARIC, INGÉNIEURS CONSEILS 1999: Route cantonale 716 Bex-Les Plans, Glissement de la Chenolette. Etat de Vaud, Département des infrastructures, Services des routes, Division des routes cantonales. 27 pp.
- VARNES, D.J. 1978: Slope Movement Types and Processes. Landslides : Analysis and Control. Special report 176, L. SCHUSTER & R.J. KRIZEK (eds.), Chapter 2, pp. 11-33.

L'instabilité de terrain d'Itrivoué (Chamoson, VS)

avec 3 figures et 1 tableau

GIUSEPPE FRANCIOSI¹⁾ & PIERRE TULLEN¹⁾

Résumé

La réactivation de l'instabilité d'Itrivoué (Chamoson, VS) s'est manifestée en avril 1999 par l'écroulement d'une falaise schisteuse, accompagné d'un débit de pointe des résurgences au niveau du talus estimé à 1000 l/s. Cette crise majeure est une conséquence des conditions hydroclimatologiques exceptionnelles (période de retour de 58 ans) du mois de février 1999. La masse glissée s'est déplacée à des vitesses maximales de 6 cm/j induisant l'obstruction partielle du torrent s'écoulant à son pied.

Riassunto

Il crollo in roccia di una parete schistosa accompagnato da portate dell'ordine di 1000l/s delle sorgenti dell'area di coronamento, caratterizzarono la riattivazione del fenomeno franoso di Itrivoué (Chamoson, VS) nel mese d'aprile 1999. L'evento è da attribuirsi alle condizioni idoclimatologiche eccezionali (tempo di ritorno di 58 anni) del mese di febbraio dello stesso anno. Il moto a valle dell'accumulo di frana ha raggiunto valori di 6 cm/giorno provocando lo sbarramento parziale del torrente sito al suo piede.

1. Situation

La fin du mois d'avril 1999, les Combes d'Itrivoué (Commune de Chamoson, VS) ont connu l'écroulement d'un volume important de falaise schisteuse. Cet épisode a marqué la réactivation d'une instabilité complexe, qui ne s'était plus manifesté depuis 1965.

Le printemps 1999 a donc vu un brusque changement dans l'évolution de l'instabilité, qui d'une phase d'activité latente est passé en phase très active.

Canton	Valais
Coordonnées	581'000/117'500
Type d'instabilité (selon Varnes, 1978)	Complexe (glissement rotationnel, éboulement, coulée)
Orientation du versant	NE
Couverture végétale	Zone de forêt (épicéas)
Superficie [m ²]	140'000
Volume mobilisé [m ³]	200'000
Volume éboulé [m ³]	3'000
Altitude max./min. [m]	1'100/900
Longueur/largeur [m]	800/300
Pente moyenne	24°

Tab. 1: Fiche signalétique.

¹⁾ EPFL DGC GEOLEP, 1015 Lausanne

2. Description

2.1 Situation Géologique

La zone instable se développe sur un soubassement rocheux en dip-slope (pendage $55^{\circ}/115^{\circ}\text{N}$) composé de schistes argileux sombres, micacés contenant des mîches siliceuses et riches en pyrite. Cette lithologie correspond à l'Aalénien du flanc normal de la Nappe de Morcle (Helvétique).

Des formations glaciaires, d'une puissance d'environ 30 m, reposent sur ce soubassement, pour former le plateau des Mayens-de-Chamoson. Le profil lithologique présente (de bas en haut) un niveau de rocher décomprimé et partiellement altéré (patine rouille, remplissage limoneux) sur lequel repose un sable limoneux (SM) qui laisse la place à un sable propre (SP). Ces niveaux ont la même teinte gris sombre des schistes. Quelques dépôts de tuf ont été individualisés à ce niveau. On observe ensuite plusieurs mètres de dépôts glaciaires sableux (SW-SM) essentiellement calcaire avec plus ou moins de gravier (les cailloux sont rares), comprenant des épisodes fluviatiles et de minces niveaux de colluvions. Un sol brun organo-minéral d'un mètre recouvre le tout.

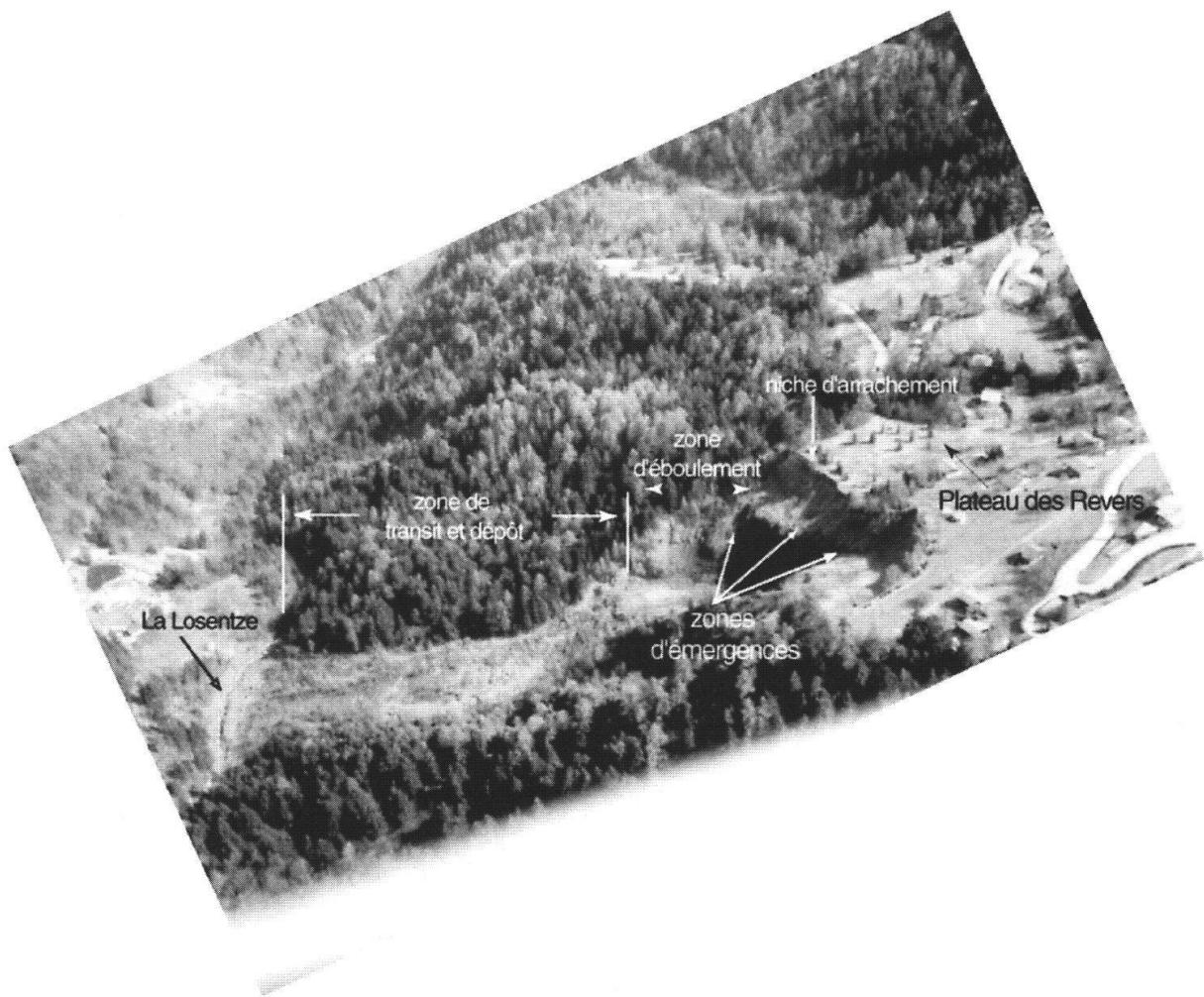


Fig. 1: Photo de la zone de rupture et d'arrachement de l'instabilité d'Itrivoué.

2.2 Eaux de surface

Le plateau des Mayens-de-Chamoson est dépourvu de cours d'eau naturel. Le torrent la Sombarde qui le traverse correspond à un ancien bisse réaménagé, actuellement alimenté par des eaux de ruissellement et par le trop plein du réservoir communal d'eau potable. Son cours est parsemé de petites zones humides. Certaines sources ont été historiquement recensées sur ce plateau, sans qu'il en reste trace aujourd'hui. Plusieurs zones d'émergences sont par contre à signaler sur les versants abrupts qui se penchent au nord-est vers le torrent principal, la Losentze, qui s'écoule au pied des combes (cf. fig. 2). Ces petits torrents, souvent sans nom, s'écoulent dans les combes avant de rejoindre le torrent principal. Les ruissellements en provenance du talus de la combe d'Itrivoué, disparaissent au pied du glissement en s'infiltrant dans les terrains mobilisés, pour réapparaître seulement sur les deux flancs du front de la masse glissée.

2.3 Hydrogéologie

Le talus dans la Combe d'Itrivoué (cf. fig. 2) présente plusieurs points d'émergence d'eau souterraine. Il s'agit, pour la plus part, de suintements et de larges zones humides dans le versant qui coïncident avec le niveau d'émergence d'une nappe perchée, située dans les terrains glaciaires. Ces zones d'émergence sont souvent soulignées par des dépôts de tuf parfois importants. Par endroit, des torrents se forment dans les combes à partir de ces sources. Afin de mieux les caractériser, ces eaux souterraines ont fait l'objet d'une série de mesures et d'analyses physico-chimiques, présentées un peu plus loin.

2.4 Instrumentation

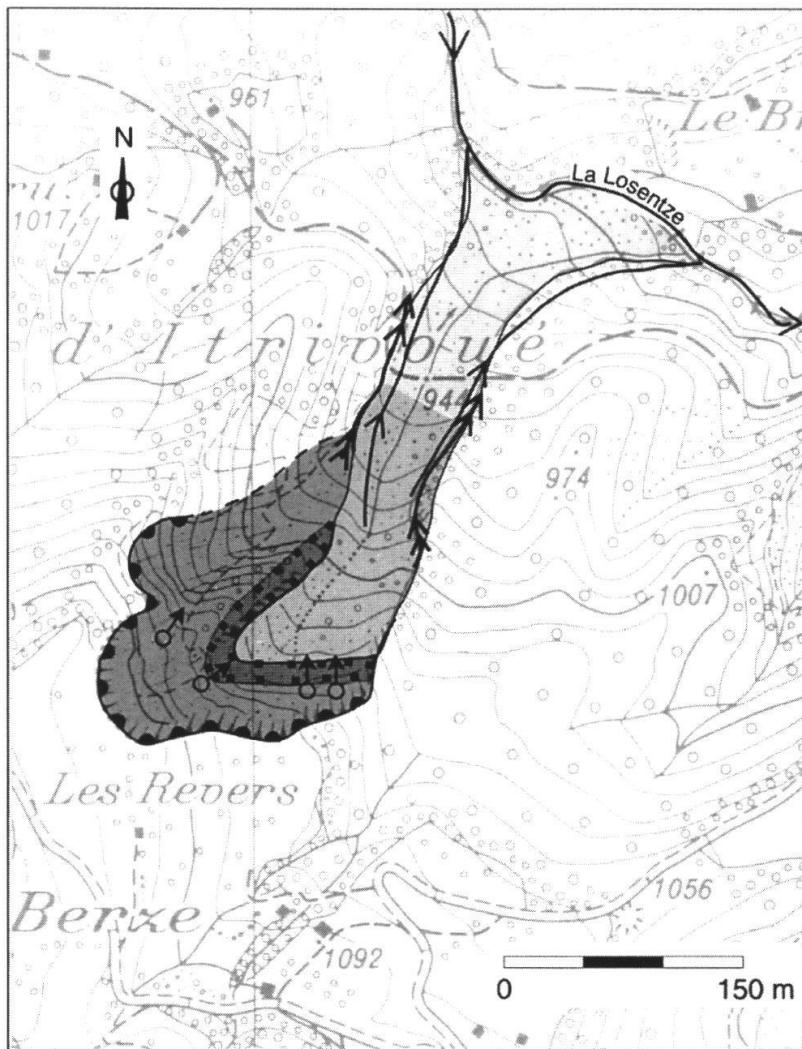
Avant les événements du printemps 1999 le site n'était équipé d'aucun système de surveillance. La commune a mis en place à partir du 6 mai 1999 un dispositif de mesure de déplacement du front de la masse glissée. Il s'agit d'un câble tendu entre deux repères de part et d'autre de la Losentze. La réalisation d'un profil topographique pour l'observation des déplacements a été planifiée mais pas encore réalisée. Des mesures traditionnelles de positionnement topographique ont été réalisées (S. Maillard 2000), afin de préciser l'avancement de la niche d'arrachement, ainsi que la position des sources et du contact rocher-terrains de couverture. Il faut noter comme les documents cartographiques officiels présentent peu de variation entre 1956 et 1991.

Nous avons installé un pluviomètre sur le plateau dit Les Revers (cf. fig. 2) à proximité directe du glissement. Les principaux points d'émergences d'eau souterraine, situés dans la zone de décollement, ont été provisoirement captés par un dispositif de type tube piézométrique, afin de permettre la réalisation de mesures et de prélèvements d'échantillons en dépit de l'évolution du versant.

3. Analyses

3.1 Comportement dynamique

Les renseignements sur l'évolution de la niche d'arrachement du glissement, au niveau du plateau des Revers, sont rares. La niche n'a pas progradé de façon sensible depuis 1956. L'analyse des documents cartographiques existants (cartes topogra-



Echelle : 1 : 5'000



Fig. 2: Identification et caractérisation des zones instables.

phiques au 25'000, et au 10'000) réalisés entre 1956 et 1991 ne suffit pas à quantifier l'ampleur des déplacements. Le talus de décollement principal du glissement, évolue quand à lui au grès des précipitations, par des petites coulées de boue et de terre, qui représentent cependant des phénomènes très localisés.

Le dispositif de mesure installé en 1999, pour quantifier les déplacements au front de la masse glissée, a permis de mesurer un déplacement cumulé de plus de 10 m en dix mois. Des vitesses maximales de 5 – 6 cm/jour ont été mesurées le 13 mai 1999, ce qui coïncide avec les précipitations de la mi-mai. Par les dernières mesures (février 2000) on observe une phase de diminution de l'activité, avec des déplacements de 2 cm/jour.

Nous avons décrit l'absence d'écoulement de surface au sein de la masse glissée. Il

faut tout de même signaler la présence de deux chenaux dans la zone de transit (cf. fig. 2), au contact entre la masse glissée et les terrains en place. Ces chenaux se présentent comme une forte érosion de fond en matériaux meubles, témoignant du passage d'une lave torrentielle. Cet événement a probablement eu lieu dès le déboufrage de la nappe des terrains glaciaires.

3.2 Caractérisation physico-chimique des eaux souterraines

Les premières analyses d'eaux souterraines dans le talus nous montrent une eau calcique et hydrogenocarbonatée ($\text{Ca}-\text{HCO}_3$), sensible aux variations saisonnières de température et avec des conductivités électriques de l'ordre de 650 mS/cm. L'eau souterraine montre des concentrations élevées en éléments d'origine anthropogène (chlorures, sodium, nitrates et sulfates) par rapport à sa typologie géochimique (Dematteis 1995). Ces premières données laissent apparaître une influence des eaux de ruissellements (routes, zones d'exploitation agricole, eaux usées) sur les eaux souterraines.

3.3 Analyse hydroclimatologique

Les données climatologiques de la station ISM de Montana montrent la quantité exceptionnelle de précipitations, tombées sous forme de neige, durant le mois de février 1999. La somme des précipitations mensuelles pour ce mois équivaut à 400% de la norme 1901 – 1960. Ceci correspond à un événement ayant un temps de retour, calculée par la loi de Gumbel, de 58 ans. Les températures indiquent une première fonte partielle sur plusieurs jours dès le mois de mars. La mi-avril reçoit des précipitations intenses sous forme de pluie, qui se sont accompagnées par une augmentation sensible de la température de l'air. Sur le graphique des corrélations hydroclimatologiques (cf. fig. 3), on peut suivre l'évolution de la température de l'air à la station de Montana enregistrées à 13h00. Dès la mi-avril elle s'élève à des valeurs avoisinant les 10°C, marquant le véritable début de la fonte des neiges.

Les torrents répondent directement à ces apports. En effet, la station du SHGN située sur la rivière le Salentse à la hauteur de Saillon (torrent à régime nival alpin limnrophe et aux caractéristiques similaires à la Losentze) et équipé d'un limnimètre à maximum, a enregistré une première crue au mois d'avril. Les précipitations exceptionnelles du printemps 1999 (pluie et fonte des neiges) vont produire une crue record, dépassant le débit maximum enregistré par la station depuis sa mise en service en 1985.

Les Combes d'Itrivoué présentent un microclimat particulier souligné par une croissance difficile des végétaux (S. Maillard 2000). Sa position encaissée entre les sommets des Haut-de-Cri et de l'Ardèze, limite la période journalière d'ensoleillement. L'abondance d'éléments schisteux et micacés favorise le réchauffement rapide de la surface du sol dès l'apparition des premiers rayons de soleil. Ces conditions sont extrêmement favorables en hivers au développement des phénomènes de gélification.

La nappe souterraine présente dans les formations glaciaires, mais vraisemblablement aussi dans les zones fissurées du soubassement rocheux, a connu une recharge importante à la suite des précipitations exceptionnelle de février 1999. Son écoulement naturel s'est heurté à des conditions de gélification des fissures au droit de son exutoire. La mise en charge des écoulements souterrains s'est terminée par un

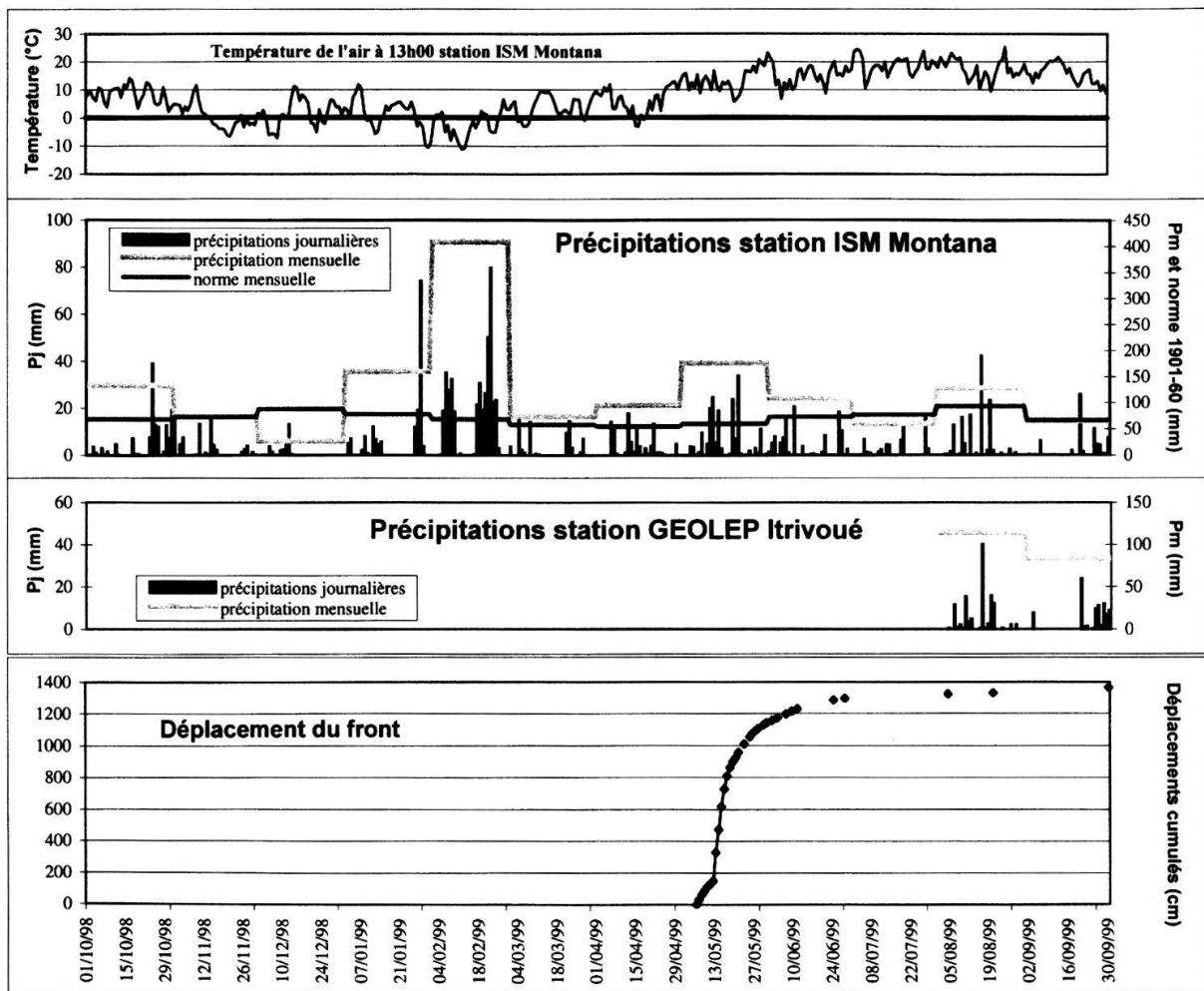


Fig. 3: Diagramme de corrélation entre données climatologiques et déplacements.

débourrage de ces fissures. Lors d'un premier état des lieux, effectué le 15 mai 1999 par le Service des Routes et des Cours d'Eau du Valais et le Bureau BEG de Vétroz, des débits ponctuels de l'ordre de 1000 l/s ont été estimés pour les émergences dans le talus, alors que le débit total des neuf points d'eau actuellement surveillés atteint au maximum 1 l/s. La présence d'un lit de lave torrentielle dans la zone de transit (cf. fig. 2), tend à confirmer l'hypothèse d'un débourrage de fissures et d'une production d'importantes quantités d'eau au début de la crise.

4. Gestion du risque, Dommages

La progression de la masse glissée en direction de la Losentze a provoqué l'obstruction partielle du torrent. Pendant l'hiver 1999 d'importantes masses de neige, arrivées sous forme d'avalanches, s'étaient accumulées dans le lit du torrent (tout au long de son tracé). Au moment de la phase majeure d'avancée du front, les eaux de la Losentze se trouvaient en crue, suite à la fonte des accumulations neigeuses et des apports du versant. Toutefois le pouvoir érosif n'étant pas en mesure d'évacuer suffisamment de matériel, la progression de la masse glissée a partiellement dévié le cours du torrent vers sa rive gauche, induisant une forte érosion de la berge. La

forêt qui occupait ce secteur, ayant été déstabilisée, a du être abattue et des travaux de dragage et curage du lit de la Losentze ont du être entrepris par les services communaux, pour prévenir la formation d'un lac de barrage.

Par contre, sur le plateau des Revers, la niche d'arrachement du glissement n'a pas connu de progression significative. C'est pourquoi personne n'a pu se rendre compte immédiatement du phénomène en cours et donner l'alerte.

5. Danger et risque

Le risque principal causé par cette instabilité correspond à la progression de la niche d'arrachement du glissement vers l'amont, en direction de la zone à bâti du plateau des Mayens-de-Chamoson. Sans s'attendre à un événement catastrophique, une progression est déjà active et appréciable, selon les observations des propriétaires des habitations qui se trouvent à quelques dizaines de mètres seulement de la niche.

Au pied du glissement, la Losentze reste toujours sous la menace de l'obstruction de son lit, par une nouvelle avancée du front du glissement. De plus, le danger de formation d'un lac de barrage induisant un risque de débâcle pourrait inquiéter le village de Chamoson situé en aval.

6. Conclusions

L'effet combiné d'une alimentation particulièrement importante de la nappe souterraine du plateau des Revers et de la gélification, sont à la base de l'écroulement de dalles schisteuses, qui a réactivé l'ensemble des phénomènes d'instabilité de la combe d'Itrivoué. Cette crise majeure de l'instabilité dépend des conditions hydro-climatologiques exceptionnelles de la fin de l'hiver 1999. Ces conditions ont su déclencher une réactivation brutale dans un secteur certes connu comme instable, mais qui vivait une phase d'assouplissement relatif depuis 1965.

Références bibliographiques

- OFEFP/OFEE 1995: Dangers naturels, légende modulable pour la cartographie des phénomènes. Berne.
- BADOUX, H. 1992: Atlas géologique de la Suisse feuille n°1305 Dent de Morcle, avec notice explicative. Commissions géologique Suisse, Berne.
- DEMATTÉIS, A. 1995: Typologie des eaux des aquifères carbonatés des chaînes alpines d'Europe centrale et méridionale. Thèse n°1419, EPFL, Lausanne.
- MAILLARD, S. 2000: Instabilité de terrain d'Itrivoué (Chamoson), reconnaissance sur les causes et proposition de mesures hydrogéologiques visant à diminuer la progression du phénomène. Diplôme EPFL, non publié.
- VARNES, D.J. 1978: Slope Movement Type and Processes. Landslides: Analysis and Control. Spécial report 176, Ed. Schuster & Krizek, ch.2, pp. 11-33.
- VARNES, D.J. 1984: Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. Commission on Landslides and Other Mass Movements on Slope éd., UNESCO, Paris.

Rutschgebiet Hohberg-Rohr (Plaffeien, FR) – Disposition und Aktivität

mit 5 Figuren

HUGO RAETZO^{1) 2)}, HANS RUDOLF KEUSEN¹⁾ & DANIEL OSWALD³⁾

Zusammenfassung

Die Rutschung Hohberg-Rohr liegt am Kontakt Klippendecke-Flysch. Die instabile Masse besteht aus den entsprechenden Verwitterungsprodukten und älteren Rutschablagerungen. Diese geologische Disposition verursacht ungünstige geotechnische und hydrogeologische Bedingungen. Die 2,5 km lange Rutschung Hohberg-Rohr bewegt sich mit einigen cm bis dm pro Jahr. Zwischen 11'585 BP und 1999 AD sind verschiedene Beschleunigungsphasen eingetreten. Die Schneeschmelze und die ausgiebigen Regenfälle haben im Frühling 1999 die Rutschung Hohberg beschleunigt. Auf der Rutschfront steht das Quartier Gerendacherli, in dem die Schäden aufgrund der Beschleunigung zugenommen haben. Dieses pessimistische Szenario wurde in der vorangehenden Risikoanalyse dargelegt. Zur Überwachung wurde das bestehende Messnetz erweitert und ein Frühwarnservice aufgezogen. Aufgrund des hohen Schadenspotentials werden im Rutschgebiet forstliche, hydrogeologische und wasserbauliche Sanierungsmassnahmen ausgeführt.

1. Ereignis

1.1 Entwicklung im Rutschgebiet vor 1999

Oberhalb von 1300 m ü.M. münden mehrere kleinere Rutschungen in die Hauptrutschmasse. Diese Rutschungen verzeichnen gemäss dendrochronologischer Analysen eine zyklische Aktivität. 1994 beschleunigt sich bei Unter Guglera Hohberg eine 300 m breite Rotationsrutschung (1450 m ü.M.). In diesem Gebiet werden 1995 die ersten Drainagegräben erstellt. Weiter unten im Rutschgebiet löst sich ein sehr aktiver Schuttstrom und zerstört auf 1310 m ü.M. die Zufahrtstrasse Lengmoos (siehe Fig. 1: dunkelrote Zone, $v > 40$ cm/Jahr). Vermessungen seit 1995 ergeben auf dieser Alpstrasse eine totale Verschiebung von mindestens 20 m. Der stark wassergesättigte Schuttstrom reagiert auf Jahreszeiten und Infiltrationsphasen.

Unterhalb von 1300 m ü.M. rutscht eine tiefgründige Masse auf einer Breite von zirka 300 m Richtung Westen. Die Geschwindigkeiten im mittleren Rutschgebiet betragen 6 – 50 cm pro Jahr. Am linken Ufer des Hohbergbachs sind die Massen schneller als am rechten Ufer. Die tiefgründige Rutschung verlangsamt sich 1998 infolge der trockenen Witterung (siehe GPS-Punkt 12 in Fig. 4). Auf dem Kegel bei

¹⁾ Geotest AG, 3051 Zollikofen

²⁾ Bundesamt für Wasser und Geologie, 3003 Bern (neue Adresse)

³⁾ Institut de Géologie, Université Pérrolles, 1700 Freiburg

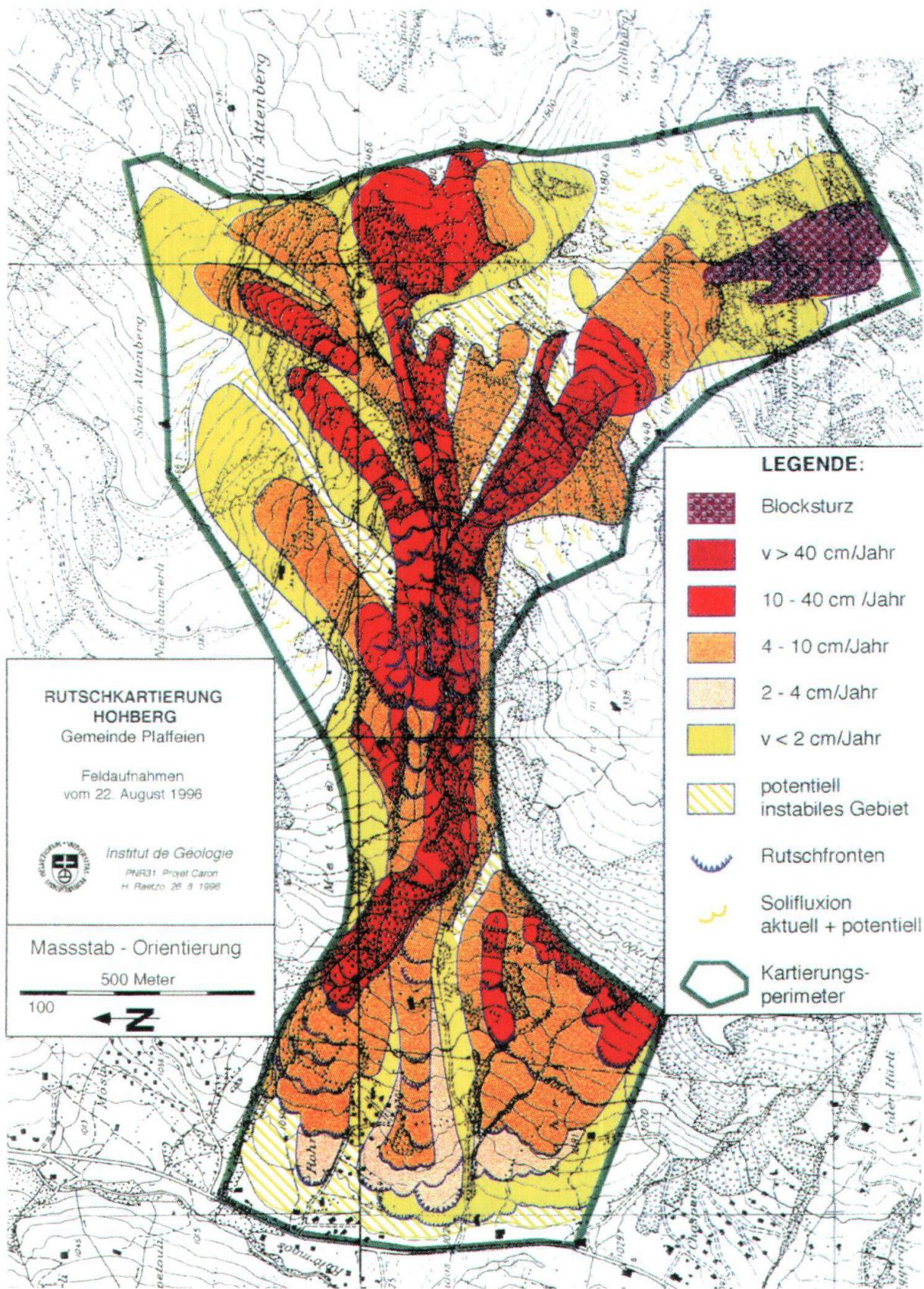


Fig. 1: Rutschkartierung Hohberg, Karte der Phänomene vom August 1996. Feldarbeiten im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms 31 (NFP31PNR). Die Rutschung Hohberg-Rohr liegt in der Gemeinde Plaffeien, Kanton Freiburg. Im Tal der Warmen Sense traversiert die Kantonsstrasse Zollhaus-Schwarzsee den Rutschfuss bei Rohr. Die Massenbewegungen haben ihren Ursprung im 1800 m hohen Hohmattli-Hohberg-Massiv.

Ludena-Rohr breiten sich verschieden schnelle Rutschungen bis auf den Talboden aus. Die Rutschzunge reagiert mit einigen Monaten Verspätung auf die Massenverlagerungen im Einzugsgebiet. Die Geschwindigkeiten nehmen an der Front bis auf wenige mm pro Jahr ab.

1.2 Beschleunigung im Frühling 1999

Die ausserordentlichen Schneemengen des Winters 1998/99 und die Regenfälle bewirken eine Zunahme der Verschiebungen beim Schuttstrom Lengmoos, bei der Rutschung Udrischli und schliesslich auf der Front (siehe Kap. 2, Fig. 4+5). Die Beschleunigung im Einzugsgebiet wirkt sich zirka drei Monate später auf die unterliegenden, teils besiedelten Gebiete aus. Im Quartier Gerendacherli nehmen die Scherkräfte zu, sodass an mehreren Gebäuden neue Risse entstehen. Ein Haus wird aufgrund der Deformationen unbewohnbar.

2. Disposition

2.1 Grunddisposition

2.1.1 Topografie und Nutzung

Kennzahlen:

Höhe Anriss:	1790 m ü.M.
Höhe Front:	1025 m ü.M.
Breite:	300–1000 m
Länge:	ca. 2500 m
Fläche:	ca. 2 km ²

Das Rutschgebiet Hohberg wird durch den Hohbergbach entwässert, dieser mündet in die Warme Sense. Der Rutschhang ist grösstenteils Richtung Westen, teilweise Richtung Nordwesten orientiert. Die Hangneigungen erreichen im Anrissgebiet 50° und im langen „Transitbereich“ 11–14°. Lokal ist das Gelände aufgrund der Geologie steiler, gegen die Front hin nimmt das Gefälle sukzessive bis in die Ebene ab. Rund ein Drittel der Fläche ist bewaldet. Ein grosser Anteil wird alpwirtschaftlich als Viehweiden genutzt. Im Rutschgebiet stehen ein halbes Dutzend Alphütten und in der Frontalzone der Rutschung liegt ein Wohnquartier.

2.1.2 Geologie

Kennzahlen:

Tiefe der Gleitflächen:	16–18 m (in Bohrungen F1-3)
Mächtigkeit des Lockergesteins:	72 m in F3 (Rutschfront)
Volumen:	ca. 30 Mio. m ³ (aktiv und latent)
Felsformationen:	¾ der Fläche im Flyschgebiet, z.T. in Klippendecke

Das Anrissgebiet oberhalb 1500 m ü.M. liegt grösstenteils in den Préalpes Médianes (Klippen). Die Malm-, Dogger- und Liasformationen sind von kalkigen Fazies geprägt. An der Basis der Préalpes Médianes finden wir Gips und Dolomit aus der Trias. Das Hohmattlimassif ist stark verfaltet. Die tektonische Beanspruchung an der Front der Préalpes Médianes ist für Sackungsbewegungen und Zerklüftungen verantwortlich. Sturzprozesse und Karsterscheinungen sind eine Folge davon.

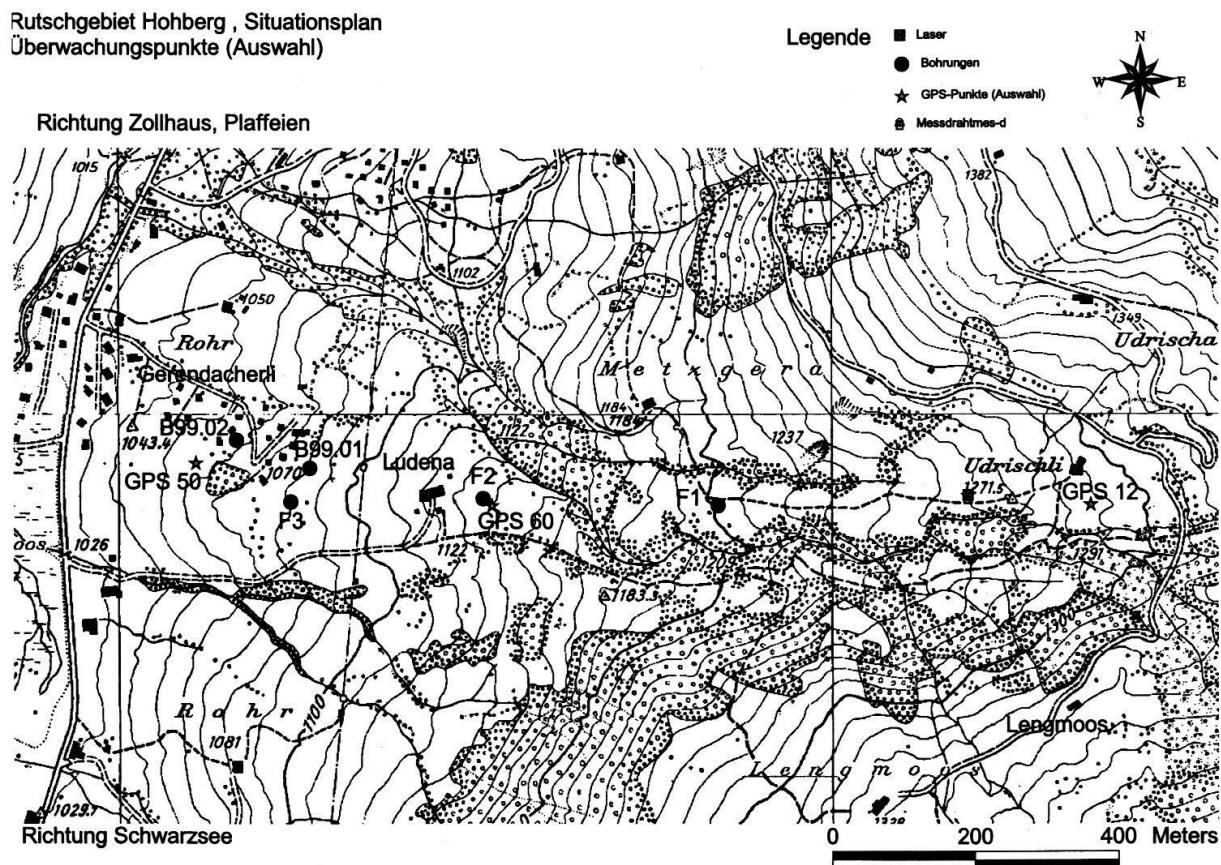


Fig. 2: Lageplan mit topografischen, geologischen und geodätischen Elementen.

Der „Transitbereich“, einige Anrissnischen und die Frontalzone der Rutschung liegen im Flyschgebiet. Zwischen Préalpes Médianes und Gurnigelflysch im Norden liegt eine Wildflyschzone, deren Ausdehnung mangels Aufschlüssen wenig bekannt ist. Der Wildflysch besteht aus einer tonig-mergeligen Matrix, die auf Verwitterung und Erosion sehr anfällig ist. In die feinkörnigen Fazies sind Olistolithen von den darüber oder darunter liegenden Decken als Fremdkörper eingelagert. Der meist kalkige Fazies dieser Linsen steht im Kontrast zur Flyschmatrix, sie sind gegen Hanginstabilitäten resistenter und ragen mancherorts wie Inseln aus dem Rutschgebiet.

Der Gurnigelflysch in der Frontal- und Transitzone ist durch seine typische Wechsellagerung von Sandsteinen und Mergeln geprägt. Die Serie ist im Schwarzseegebiet zirka 1300 Meter mächtig. Die lithologische Abfolge und deren biostratigraphische Altersbestimmung werden von Van Stuijvenberg (1979) und Caron et al. (1989) beschrieben. Der Gurnigelflysch des Aettenbergs ist verfaltet und überschoben. Am Nordrand der instabilen Zone fallen die Schichten lokal gegen Süden, das heisst gegen das Rutschgebiet.

Lockergesteine:

Für die Gefahrenbeurteilung bedeutsam waren drei Bohrungen im Winter 1996/97 (CSD) und zwei Bohrungen im Sommer 1999 (GEOTEST AG). Die drei Bohrungen auf der Rutschzunge sind in Fig. 3 dargestellt.

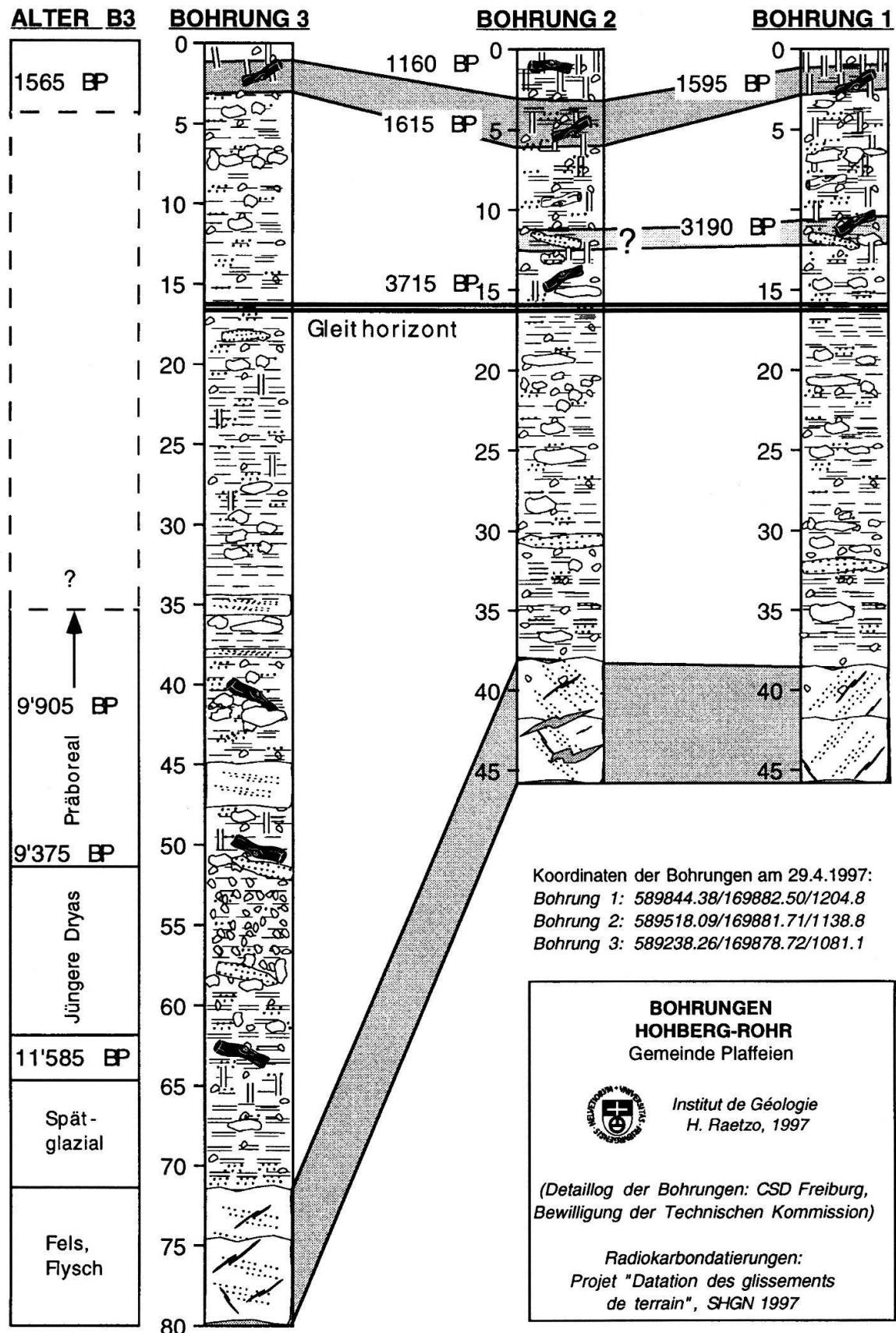


Fig. 3: Bohrlogs von F1-3, Lage der Bohrungen siehe Fig. 2. Die Lockergesteine sind mehrheitlich matrixgestützt. Die tonig-siltige Matrix von bindigem Charakter beinhaltet Lagen von Kies, Steinen, Blöcken und selten Sand. Alle Rutsch- und Murgangablagerungen wurden nach der letzten Eiszeit abgelagert.

Die Bohrungen F1 und F2 erreichen den Fels in 38 – 39 m, die Gesamttiefe beträgt 44 – 46 m. Eine tonig-siltige Matrix wird selten von Blöcken, Kies- und Steinlagen unterbrochen. Die siltigen Tone zeigen eine generell hohe Plastizität, manchmal ist organisches Material eingelagert. Radiokarbondatierungen ergeben Alter zwischen 1160 BP und 3190 BP. Der Gleithorizont befindet sich in beiden Bohrungen auf 17 m in siltigem Ton hoher Plastizität. Der in F2 angebohrte Fels aus grobem Sandstein (Gurnigelflysch) ist teilweise zerklüftet. Die Bruchränder zeigen Reaktionssäume.

Die Bohrung F3 erreicht den Fels aus Sandstein in 72 m, die Gesamttiefe beträgt 80 m. Die Lockergesteine bestehen grösstenteils aus Ton-Silt-Gemischen. In diese feinkörnige Matrix sind wenig Sand, Kiese, Steine und einige Blöcke eingelagert. In der Bohrung F3 liegen ebenfalls Hölzer, deren Alter mittels Radiokarbondatierungen bestimmt wird. Die obersten Murgang- und Rutschablagerungen datieren von 1565 BP. Zwischen 40 und 52 m Tiefe liegen 9'000 bis 10'000 Jahre alte Hölzer. Die Kiesablagerungen unterhalb von 52 m sind Träger von artesischem Grundwasser. Unter den Kiesschichten liegen in 64 m Tiefe Sedimente mit organischem Material, das sich 11'585 BP während Klimaänderungen abgelagert hat.

Nach den Schadensmeldungen im Quartier Gerendacherli werden im Siedlungsgebiet zur Abklärung von möglichen Sanierungsarbeiten zwei zusätzliche Bohrungen abgeteuft. Die 50 m tiefen Bohrungen sind für Grundwasser- und Deformationsmessungen mit einem gelochten Inklinometerrohr ausgerüstet. Tonige Silte und siltige Tone sind vorherrschend. Bei der Bohrung B99.02 liegen durchlässige Kieschichten in 38 – 50 m Tiefe. In beiden Bohrungen lagern fossile Hölzer, deren Datierung noch aussteht. Inklinometermessungen in B99.01 ergeben eine Gleitfläche in 14 m Tiefe.

2.1.3 Hydrogeologie

Gips- und Dolomitvorkommen an der Basis der Préalpes Médianes sind für thermale Schwefelquellen im Schwarzseegebiet verantwortlich. Diese wurden seit dem Ende des 19. Jahrhunderts für den Kurbetrieb genutzt. Die chemische Zusammensetzung des Grundwassers im Rutschgebiet und der Einfluss auf die Aktivitätsphasen sollen im Rahmen von laufenden Dissertationen erforscht werden. Die Wasserzirkulation im Karstmassif Hohmattli (Anrissgebiet) ist nicht erfasst. Am Kontakt zu den unterliegenden Flyschformationen befinden sich Quellen, die für die Ausdehnung und für die Dynamik der Massenbewegungen von Bedeutung sind. Die Wasserzirkulation im Gurnigelflysch wird von der unterschiedlichen Durchlässigkeit der Schichten beeinflusst. Die Sandsteinformationen des Thanetien und Cuisien (Paläo- bis Eozän) bilden dank der Zerkleüftung gute Grundwasserträger. Im Einzugsgebiet liegen als Folge der Wasserzirkulation zahlreiche Feuchtgebiete und kleine, diffuse Wasserläufe.

In der Bohrung B99.02 lagert unter den Rutsch- und Murgangablagerungen ein Kieskörper, dessen Verbindung zur alluvialen Talverfüllung der Warmen Sense wahrscheinlich ist. Während den Bohrarbeiten im Juli 1999 fliesst artesisches Grundwasser aus 38 m Tiefe an die Oberfläche. Die obere Kote des Grundwasserträgers liegt mit 1015 m ü.M. deutlich unter dem Talgrund von 1025 m ü.M. Eine ältere Probebohrung im Talboden hat ebenfalls einen Arteser angebohrt. Es ist

denkbar, dass das artesische Grundwasser unter der Rutschung und jenes im Talboden miteinander kommunizieren.

2.2 Variable Disposition

Das zirka 2 km² grosse Rutschgebiet hat eine Dynamik, die von Klimafaktoren beeinflusst wird. Die Reaktion auf Witterungseinflüsse ist von der Grunddisposition des Teilgebietes abhängig. Grundwasserströmungen und Massenbewegungen sind für die Dynamik mitverantwortlich. Ein für Flyschrutschungen typischer „Handorgelleffekt“ verursacht Aktivitätsschwankungen. Die bergseitige Belastung und die talseitige Entlastung bewirken diese Handorgel- oder Wellenbewegung. Man unterteilt das Rutschgebiet in drei Bereiche:

- Das obere Rutschgebiet mit verschiedenen AnrisSEN liegt oberhalb von 1400 m ü.M. Die Geschwindigkeitsentwicklung seit 1997 ist im oberen Bereich nicht einheitlich.
- Im mittleren Rutschgebiet (1200–1400 m ü.M.) werden seit vier Jahren Beschleunigungen und Verlangsamungen mit GPS und Distolaser aufgezeichnet. Die Verschiebungen des GPS-Punktes 12 sind in Fig. 4 dargestellt.
- Im unteren Rutschgebiet (unter 1200 m ü.M.) laufen verschiedene Zungen auf einem breiten Schuttfächer fingerförmig aus. Davon ist die Hauptzunge in der Falllinie direkt mit dem Geschehen im mittleren und oberen Rutschgebiet verbunden. Die Aktivität ist also von den Massenbewegungen weiter oben abhängig und wird somit durch den „Handorgelleffekt“ gesteuert. Die Verschiebung und die Geschwindigkeit der Hauptzunge ist durch die zwei GPS-Punkte 60 und 50 in Fig. 4 dargestellt.

2.3 Auslösendes Ereignis

Grosse und tiefgründige Rutschungen im Flysch reagieren normalerweise, aber nicht zwingend mit einer Verzögerung auf meteorologische Einflüsse. Auch die Rutschung Hohberg reagiert in der Regel Monate nach überdurchschnittlichem Wassereintrag mit einer entsprechenden Beschleunigung. Die Dynamik des Jahres 1999 wird auch durch die feuchte Vorgeschichte seit Herbst 1998 beeinflusst. Die ausserordentlichen Schneemengen des Winters 1998/99 beginnen im Rutschgebiet Hohberg im Februar zu schmelzen. Bis auf zirka 1400 m ü.M. regnet es ab Ende Februar auf die gesättigte Schneedecke. Die Bodenschicht ist zu diesem Zeitpunkt ebenfalls gesättigt. Als Folge der milden Temperaturen ist der Boden unter der Schneedecke aufgetaut, was die Durchlässigkeit gegenüber dem gefrorenen Zustand erhöht. Die Reaktion auf den Wassereintrag folgt 1999 unverzüglich. Ab Anfang März registriert der Laser bei Udrischli eine massive Beschleunigung (siehe Fig. 5). In der Nähe des Lasers Udrischli steht der GPS-Punkt 12, der sich auf der gleichen Masse befindet und sich dementsprechend verhält (siehe Fig. 4). In wenigen Monaten verschiebt sich die tiefgründige Rutschung im Mittelteil über einen Meter talwärts. Der Schuttstrom Lengmoos rutscht zwischen November 98 und Mai 99 mehr als 5 m. Diese Massenverlagerung wird sich auf das untere Rutschgebiet auswirken.

Die Reaktion der Rutschzunge auf diese Beschleunigung wird durch zwei GPS-Punkte illustriert (siehe Fig. 4). Der GPS-Punkt 60 steht auf der Rutschzunge bei

F2 und der GPS-Punkt 50 im Auslaufbereich beim Quartier Gerendacherli. Im Winterhalbjahr 96/97 und 97/98 beschleunigen sich die zwei Punkte leicht, die Geschwindigkeit der Zunge bleibt aber unter 1 cm/Monat. Im Mai 1999 reagiert der Punkt 60 auf die Beschleunigung, die im März beim Laser Udrischli eingetreten ist. Von Mitte Mai bis Mitte Juni verschiebt sich der Punkt 60 mit 9 cm/Monat, einer

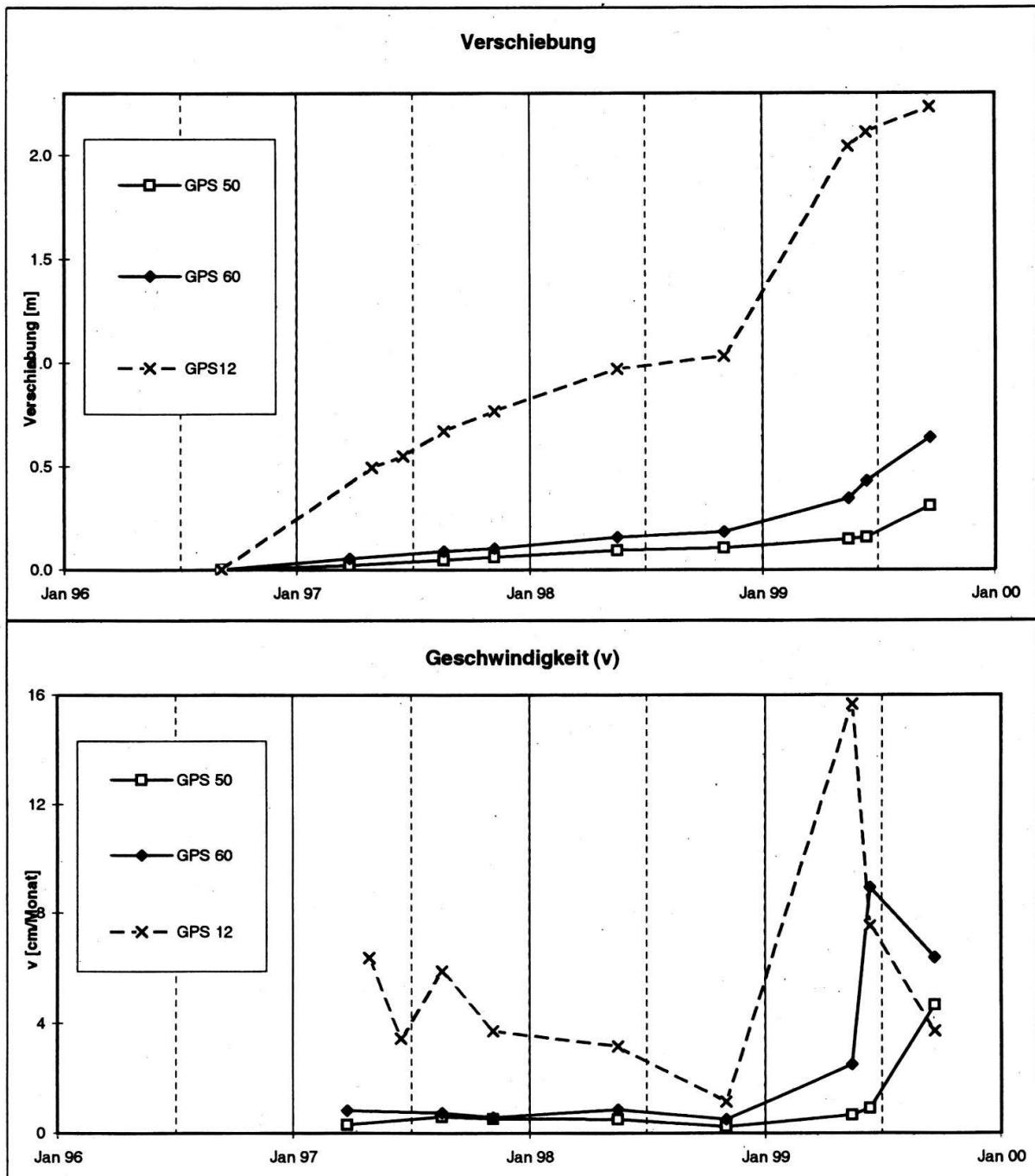


Fig. 4: GPS-Messungen auf drei ausgewählten Punkten im Rutschgebiet Hohberg. Verschiebung horizontal (m) und Geschwindigkeit (cm/Monat).

Punktnummer	X-Koordinate	Y-Koordinate	Höhe (m)	Kommentar
GPS Punkt 12	590362	169877	1288	Tiefgründige Rutschbewegung, Mitte
GPS Punkt 60	589522	169876	1140	Rutschzunge
GPS Punkt 50	589108	169934	1056	Auslaufbereich Rutschzunge

gut zehnfach höheren Geschwindigkeit als in den Vorjahren. Der Punkt 50 befindet sich zirka 400 m weiter talwärts und reagiert erst Ende Juni auf die bergseitige Massenverlagerung. Die Analyse sämtlicher Messdaten im Rutschgebiet ergibt eine Reaktionszeit, die mit der Distanz zum Anriss zunimmt. Die Beschleunigungs-welle 1999 hat sich mit einer mittleren Geschwindigkeit von 10 m/Tag verschoben.

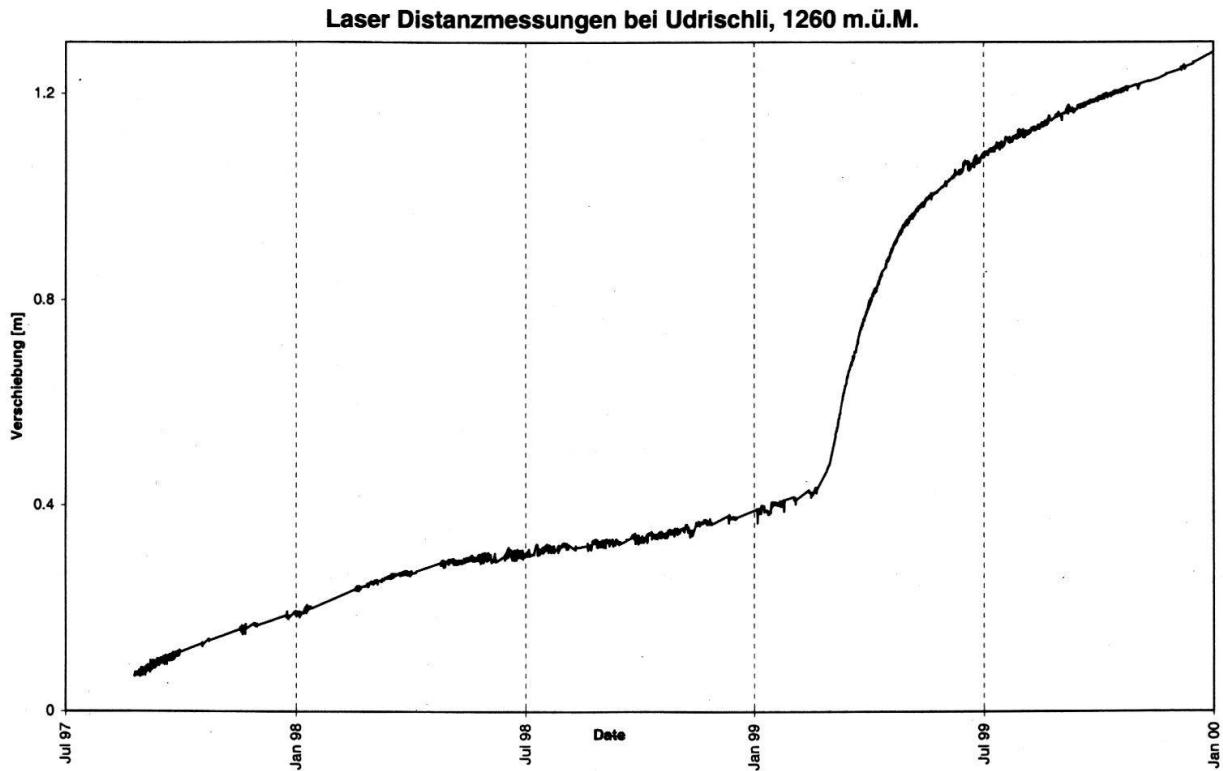


Fig. 5: Laser-Messungen bei Udrischli, 1260 m ü.M. Die Distanz zwischen dem ruhigen und dem rutschenden Punkt wird automatisch gemessen. Das Intervall ist programmierbar, es beträgt im Winter eine Stunde, da die Stromversorgung mit Solarzellen nicht mehr Messungen zulässt.

Nach den Beschleunigungsphasen tritt bei GPS 12, GPS 60 und GPS 50 eine sukzessive Beruhigung ein. Anders als in den vorangehenden Jahren bleibt die Aktivität auf der Rutschzunge bis Ende 1999 hoch. Lasermessungen beim Punkt 60 ergeben eine Durchschnittsgeschwindigkeit von zirka 3 cm/Monat (zuvor < 1 cm/Monat). Eine geringere Restscherfestigkeit, gestörte Wasserwege und hoher Porenwasserdruck kommen als Ursachen in Frage. Die Überwachung muss in der Folge intensiviert werden.

3. Gefahrenmanagement

3.1 Gefahren- und Risikoanalyse

Nach den Schäden von 1994 beauftragen die Behörden das Geologische Institut der Universität Freiburg mit der Kartierung, der GPS-Überwachung, der Gefahrenanalyse (Beer, Raetzo & Caron 1997) und der Risikoanalyse (Raetzo & Caron 1998). In der Risikoanalyse werden vier Szenarien berücksichtigt. Davon sind das zweite Szenario „status quo“ mit einer Eintretenswahrscheinlichkeit von 70% und

das pessimistische dritte Szenario mit einer Eintretenswahrscheinlichkeit von 20% relevant. Letzteres beschreibt die Gefahrenanalyse mit einer Reaktivierung latenter Rutschmassen. Die substabilen Rutsch- und Murgangablagerungen sind teilweise überbaut, zunehmende Scherkräfte können Wohnhäuser zerstören. Bei einer Verklausung des Hohbergbachs steigt zudem die Murganggefahr. Die Risikoanalyse ergibt beim dritten Szenario aufgrund des potentiellen Sachschadens von zirka 20 Mio. CHF ein Risiko von 4 Mio. CHF. Nach dem Rutschjahr 1999 muss mit dem pessimistischen Szenario gerechnet werden.

3.2 Überwachung und Frühwarndienst

Die Komponenten der Überwachung sind in Fig. 2 dargestellt. Seit 1999 übernimmt die Firma Geotest AG die Überwachung und den Frühwarndienst (in Zusammenarbeit mit dem Geologischen Institut UNIFR).

<i>Messung/Beobachtung:</i>	<i>Einsatzfrequenz:</i>
Beobachtungen im Feld	nach Bedarf
Messdraht Lengmoos (1310 m ü.M.)	nach Bedarf, Verfügbarkeit
Laser bei Udrischli (1260 m ü.M.)	automatisch alle Stunden
Laser bei Ludena (1122 m ü.M.)	automatisch alle 20 Minuten
Distanzmessungen im Siedlungsgebiet	nach Bedarf, ca. 8 Messungen/Jahr
GPS-Messungen im ganzen Rutschgebiet	nach Bedarf, ca. 1 Messung/Jahr
Inklinometermessungen	nach Bedarf

Das Messnetz ist so aufgebaut, dass die Lasergeräte an zwei Schlüsselstellen die tiefgründige Rutschbewegung kontinuierlich erfassen. Erfahrungsgemäss beträgt die Reaktionszeit der Rutschungen im Quartier einige Monate ab Beschleunigung beim Laser Udrischli. Beschleunigt sich auch der zweite Laser bei Ludena, ist kurzfristig mit einer höheren Gefährdung zu rechnen. Dank dieser Geschwindigkeitsaufzeichnungen werden die Distanzmessungen mit Theodolit und die GPS-Kampanien effizient genutzt.

3.3 Massnahmen

Nach der Gefahren- und Risikoanalyse haben die Landeigentümer, als Trägerin steht die Mehrzweckgenossenschaft Schwyberg-Aettenberg, bei Bund und Kanton ein Subventionsgesuch für das Sanierungskonzept eingereicht. Die Projektverfasser haben sich die Fachgebiete folgendermassen aufgeteilt: Geologie (Geotest AG), Forst (Büro Philipona & Brügger) und Wasserbau (Ribi SA). Im Sanierungsprojekt sind Aufforstungen, Oberflächenentwässerungen, Tiefendrainagen und wasserbauliche Massnahmen vorgesehen. Mit den bevorstehenden Sanierungen wird in erster Linie versucht, die Infiltration des Wassers in den Rutschkörper zu verhindern. Zudem sollen untiefe Drainagen das oberflächennahe Wasser aus der Rutschmasse ableiten.

4. Folgerungen

Seit dem Rückzug der Gletscher sind mehrmals grosse und kleine Massenbewegungen im Rutschgebiet Hohberg-Rohr aufgetreten. Für die Aktivität der Rutschung spielt das Klima eine entscheidende Rolle, wobei die Reaktion entsprechend der Disposition variieren kann. Auch 1999 haben Witterungseinflüsse eine

Beschleunigung verursacht, dabei ist eine Welle mit 10 m/Tag vom oberen ins untere Rutschgebiet gewandert.

Auf der Rutschzunge hat sich die Geschwindigkeit ungefähr um den Faktor 10 erhöht, in der Folge gerieten auch vormals ruhige, latente Massen in Bewegung. Messungen und Deformationen aus dem Jahr 1999 widerspiegeln eine seltene Zustandsveränderung im Frontalbereich. Im unteren Rutschgebiet haben sich die Geschwindigkeiten nach der Beschleunigung auf einem höheren Niveau eingependelt. Das Ereignis 1999 zeigt die mögliche, pessimistische Entwicklung, die in der Risikoanalyse unter Szenario 3 beschrieben wurde. In Anbetracht des möglichen Schadens von zirka 20 Mio. CHF lasten grosse Hoffnungen auf den geplanten Sanierungsmassnahmen.

Die Resultate aus dem Rutschgebiet Hohberg-Rohr zeigen, dass mit geologischen Untersuchungen die Bandbreite gefährlicher Prozesse eruiert werden kann. Ruhige Phasen werden aufgrund der variablen Disposition von Beschleunigungen abgelöst. Diese natürlichen Aktivitätsschwankungen müssen in der Gefahrenanalyse und im Management berücksichtigt werden. Der Raumplanung in Rutschgebieten stellen sich somit hohe, weitsichtige Anforderungen.

Kurzbibliographie

- BEER C., RAETZO H. & CARON C. 1997: Geologische Untersuchungen, Gefahrenanalyse Rutschgebiet Hohberg-Rohr. Geologisches Institut der Universität Freiburg (unveröffentlicht).
- CARON C., HOMEWOOD P., & WILDI W. 1989: The original Swiss Flysch. Earth-Science Reviews, 26, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.
- CSD 1997-98: Verschiedene Berichte zum Rutschgebiet Hohberg-Rohr (unveröffentlicht)
- GEOTEST AG 1998-99: Verschiedene Berichte zum Rutschgebiet Hohberg-Rohr (unveröffentlicht).
- RAETZO-BRÜLHART H. 1997: Massenbewegungen im Gurnigelflysch und Einfluss der Klimaänderung. Arbeitsbericht NFP31, vdf-Hochschulverlag der ETH Zürich.
- RAETZO H. & CARON C. 1998: Risikoanalyse Rutschgebiet Hohberg-Rohr. Geologisches Institut der Universität Freiburg (unveröffentlicht).
- RAETZO H., DAPPLES F., OSWALD D. & CARON C. 1998: Datierung von Massenbewegungen. Geologisches Institut der Universität Freiburg, Bericht zu Handen der Landeshydrologie- und geologie, 3003 Bern (unveröffentlicht).
- VAN STUIJVENBERG J. 1979: Geology of the Gurnigel area. Beiträge Geologische Karte Schweiz, N.F.

Rutschung und Murgang Blacht - Stigelschwand (Adelboden, BE)

mit 3 Figuren

KASPAR GRAF^{*)} & HANS RUDOLF KEUSEN^{*)}

Zusammenfassung

Durch die ausserordentlich intensive Schneeschmelze in Verbindung mit starken Niederschlägen wurde eine alte Sackungs- und Rutschmasse von geschätzten 10 – 20 Mio m³ im Niesenflysch am Südfuss des Schwandfälspitz westlich von Adelboden reaktiviert. Anfang Mai 1999 traten in der Front im Bereich bestehender Quellhorizonte erste Hangmuren auf, die sich mit grossen Mengen Quellwasser vermischt als Murgänge und Schlammströme über das Weideland der Stigelschwand ergossen. Die tiefgründige Bewegung der grossen Rutschung manifestierte sich in einem vertikalen Versatz des Schuttkegels von 2–4 m an der nördlichen Felswand und durch tiefgreifende Transversalrisse im Waldboden. Mit der Normalisierung der Quellschüttungen im Juni und Juli beruhigten sich auch die Terrainbewegungen. Die Rutschung befindet sich heute wieder in ihrem normalen Zustand mit einer Gesamtbewegung von wenigen Zentimetern pro Jahr.

1. Ereignisse

Am 6. Mai 1999 ereigneten sich im Gebiet Stigelschwand - Margeli - Blacht, 2 Kilometer westlich von Adelboden (Koordinaten 607'100/149'000; Höhe 1'500 – 1'800 m ü.M.) erste oberflächliche Hangmuren im frontalen Bereich einer grossen alten Sackungsmasse im Niesenflysch. In der Folge entwickelten sich mehrere Murgänge durch die Vermischung von Rutschmaterial (Fels und Gehängeschutt) mit grossen Mengen Grundwasser das im frontalen Bereich des Hanges austrat. Dadurch kam es zu einer Übermurung und Übersarung des Weidelandes ober- und unterhalb der Verbindungsstrasse Adelboden Stigelschwand auf einer Gesamtbreite von ca. 400 m; die Murgänge und Schlammströme mündeten auf ca. 1410 m ü.M. in den Allebach.

Bei der Gebietsbegehung wurde die Reaktivierung der tiefgründigen Sackung Alp Blacht mit einem bis Mitte Mai noch teilweise von Schnee bedeckten Anriss auf Kote 1800 m ü.M. unterhalb der Felswand südöstlich des Schwandfälspitzes auf einer Breite von ca. 450 m festgestellt. Die Front der Sackung wird im Süden begrenzt durch Stigelbach und Margeliweid auf Kote 1510 m ü.M., im W und E sind

^{*)} Geotest AG, Birkenstrasse 15, 3052 Zollikofen

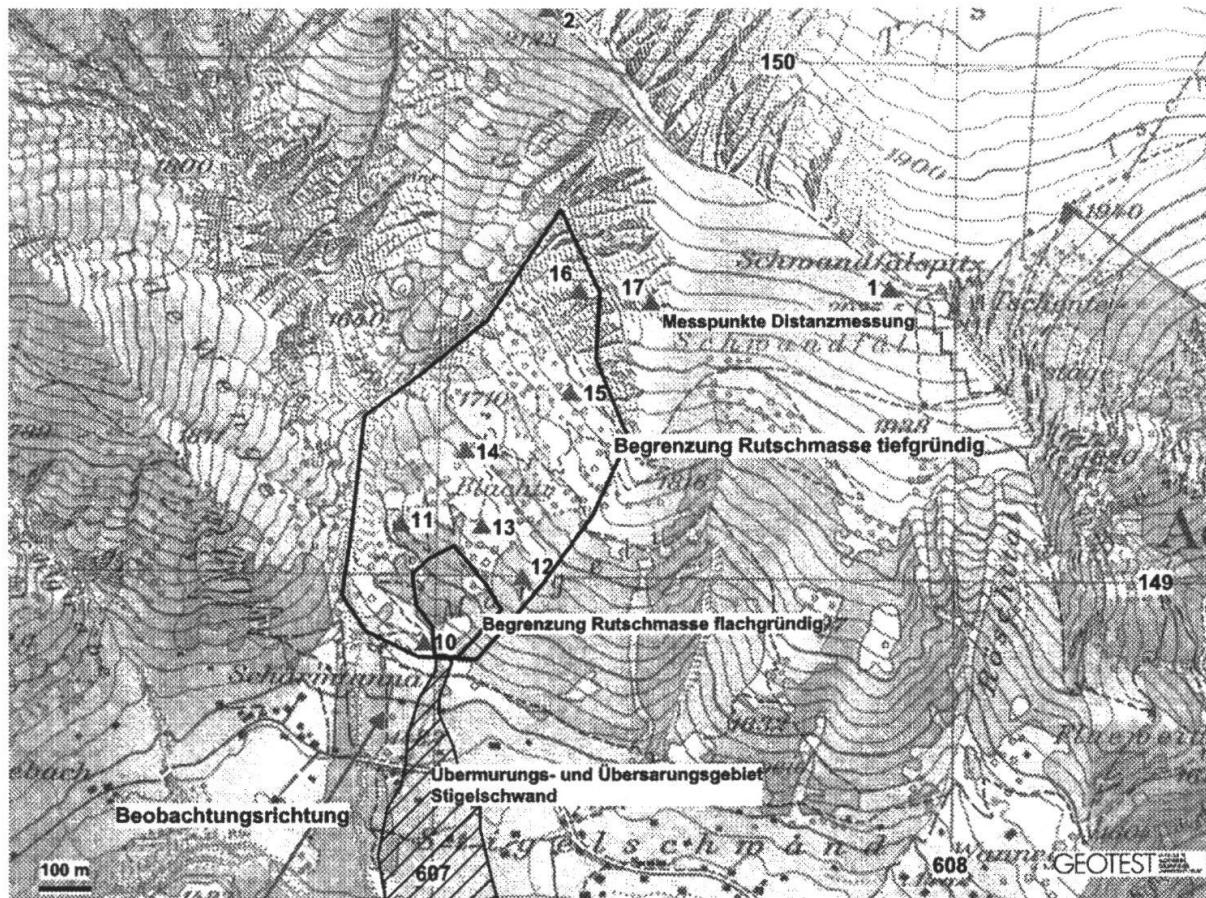


Fig. 1: Situation mit Umgrenzung des Rutschgebietes und Messpunkten.

die Begrenzungen durch die Bachrunse bzw. Anrisse im Waldboden definiert. Die Gesamtfläche beträgt ca. 20 ha, die Rutschmasse hat ein geschätztes Volumen von 10-20 Mio. m³, unter Annahme eines normalen Gleitkreises. Die Rutschgeschwindigkeiten erreichten Anfang bis Mitte Mai im frontalen Bereich bis über 1 cm/h, die mittleren Verschiebungsgeschwindigkeiten der gesamten Rutschung betrugen extrapoliert für den Mai um 1 – 2 cm/Tag. Am oberen Anrissrand der grossen Sackungsmasse wurde durch die Vertikalbewegung entlang der Schuttfächer die Felsoberfläche entblösst; die dadurch angezeigte Vertikalbewegung betrug maximal ca. 4 m.

Im Zuge der Ereignisse wurde die Verbindungsstrasse unterbrochen und ein Teil des Weidelandes in der Stigelschwand übersart. Lokale Höfe und eine Ferienhausiedlung wurden von Murgängen randlich erreicht, aber nicht beschädigt oder zerstört. Die lokalen Quellfassungen im Rutschhang wurden durch den starken Wasserandrang und das abrutschende Lockermaterial zerstört. Ebenso wurde ein Teil des Waldes unterhalb der Alp Blachti durch die Hangmuren erfasst und zerstört. Im Übersarungsgebiet der Stigelschwand mussten einzelne Höfe für kurze Zeit (einige Nächte) evakuiert werden.

Murgangtätigkeit und Rutschbewegung beruhigten sich mit dem Rückgang der Quellschüttungen nach Abschluss der Schneeschmelze rasch.

2. Grunddisposition

2.1 Topografie

Das Gebiet liegt an der S-Flanke des Gsür. Vom Schwandfälspitz fällt das Gelände über 2 Felsstufen zur Terrasse der Alp Blachtli ab. Vom da führt eine weitere bewaldete Geländekante hinunter zum grossen Schuttfächer des Stigelbachs. Das mittlere Gefälle von der Felskante auf 1800 m ü.M. zum Hangfuss beträgt rund 20° . Die Neigung im Rutschgebiet unter dem Blachtli ist rund $30 - 35^\circ$. Das Weideland in der Stigelschwand hat eine Neigung von $\leq 15^\circ$.

2.2 Geologie

Geologisch gesehen liegt das Rutschgebiet im Niesenflysch mit Kalk- und Ton-schiefer-Wechsellagerungen. Die Gesteinsschichten fallen mit $10 - 20^\circ$ hangeinwärts (nach NE) ein. Auf dem anstehenden Fels liegt schiefriger Gehängeschutt mit vielen Kalkgeröllen. Hangparallel erfolgt die Ablösung von Felsspaketen entlang einer ausgeprägten steilstehenden Hangklüftung. Im oberen Teil der Sackung bilden sich steile Gehängeschuttfächer. Oberflächlich beobachtet man einen ausgeprägten Hakenwurf der Schichten.

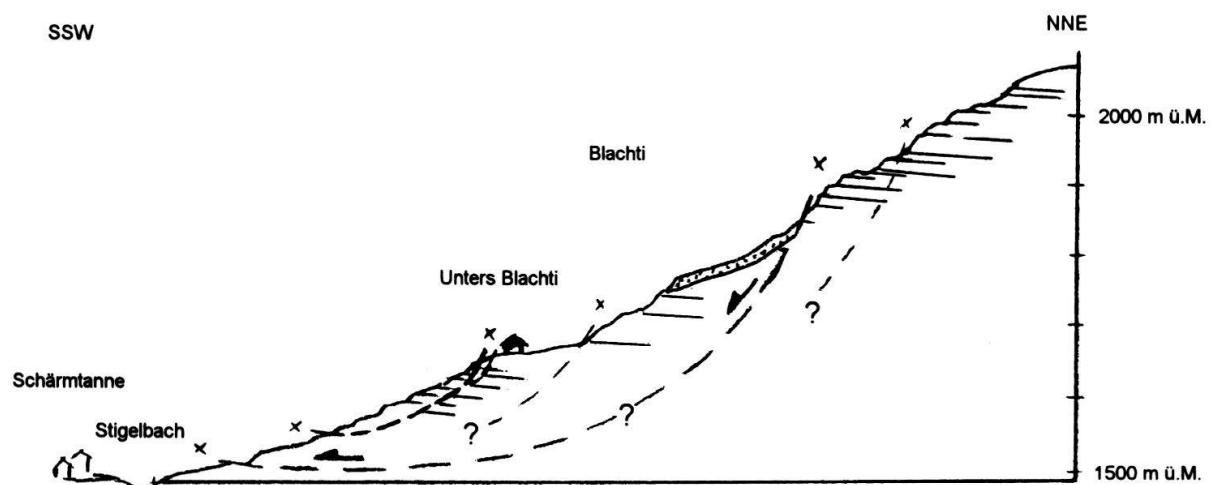


Fig. 2: Vereinfachtes geologisches Profil mit mutmasslichen Gleithorizonten.

2.3 Hydrogeologie

Oberflächenwasser infiltriert entlang des gesamten oberen Alpgebietes und der Felswand; Quellhorizonte liegen im Wald unterhalb Unters Blachtli, hier bestanden verschiedene Quellfassungen der lokalen Wasserversorgung. Im Fels bestehen entlang von Klüften und Schichtflächen im Kalk ausgeprägte Wasserwegsamkeiten; tonige Bereiche sind dagegen wenig durchlässig und wirken als Stauer mit der Bildung von Quellhorizonten, eine lokale Verkarstung ist vermutlich eher von untergeordneter Bedeutung. Die Existenz verschiedener, unabhängiger Grundwasserstockwerke ist anzunehmen, da sich im Unterem Blachtli auch Quellaustritte mit starker Verockerung beobachten lassen.

2.4 Hydrologie

Das Gebiet wird vom Stigelbach entwässert. Der Eselbach im Osten liegt ausserhalb des aktuellen Rutschgebietes. Der Stigelbach mündet unterhalb der Schärmertanne in den Allebach, der nach SE zum Dorf Adelboden hin abfließt. Im Randbereich der Alp bestehen kleinere, nur periodisch wasserführende Runsen.

2.5 Vegetation

Der Felswand entlang gibt es auf den Schuttkegeln nur spärlichen Grasbewuchs. Darunter folgt die Weide der Alp Blacht mit etwas Baumbewuchs und unterhalb gibt es eine bewaldete Steilstufe über dem Weideland der Stigelschwand.

3. Auslösende Gründe für das Ereignis

Die intensive Schneeschmelze im Frühjahr 1999 und die zusätzlichen Niederschläge bewirkten eine starke Durchnässung des Untergrundes und einen grossen Wasserandrang mit entsprechendem Anstieg des Gebirgwasserspiegels. Die Quellhorizonte im Gebiet der Alp Blacht führen ausserordentlich viel Wasser.

Die primären Gründe für die Reaktivierung der Sackung und der sekundären flachgründigen Hangrutschung mit anschliessenden Murgängen ist in der starken Durchnässung des Bodens und des Gebirges zu suchen. Die dadurch wirkenden hydraulischen Drücke, hatten zur Folge, dass das durch die Versackung entfestigte Gebirge in beschleunigte Bewegung geriet. In der Front der Rutschmasse wurden labile Felspakte durch den Wasserdruk zunehmend aus dem Gebirgsverband

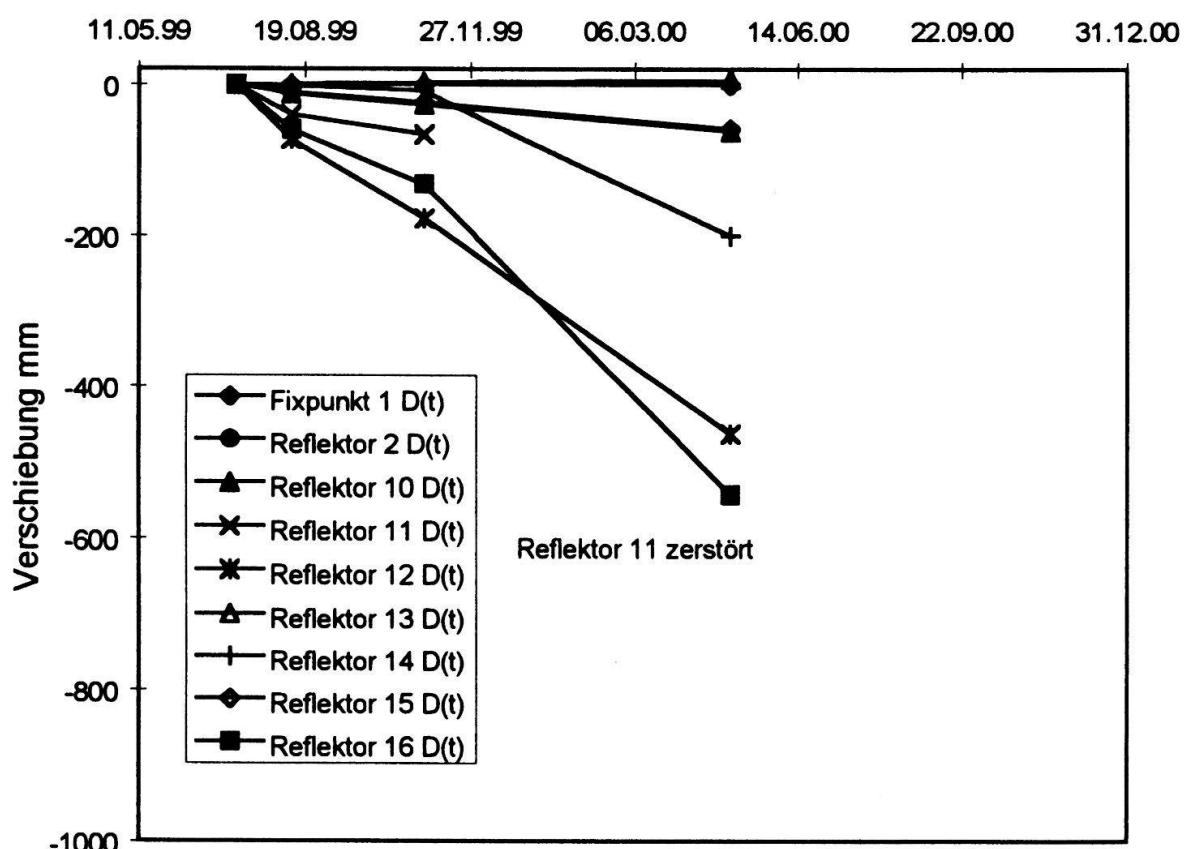


Fig. 3: Resultate der Laser-Distanzmessungen 1999 – 2000 der im Frühjahr 1999 versetzten Messpunkte.

herausgelöst. Das aus dem Hang austretende Wasser hatte zudem im oberflächlich stark verwitterten Steilhang eine grosse Erosionswirkung.

4. Gefahrenmanagement

Für die Analyse des Gefahrenpotenzials werden die Aktivität der untiefen Hangrutschung mit Murgang und der tiefgründigen Sackung/Rutschung getrennt betrachtet:

- Grosse Rutschmasse: aufgrund der kurzen Beobachtungszeit ist bisher nur eine bedingte Abschätzung des Gefahrenpotenziales möglich. Grössere Massenbewegungen hätten entsprechende Konsequenzen für Anwohner. Die Gefahr einer Verklausung des Stigelbachs stellt eine sekundäre Gefahr dar.
- Untiefe Rutschungen und Hangmuren: Ein zukünftiges Gefahrenpotenzial besteht. Ähnliche Ereignisse mit Übersarungen des Kulturlandes, Gefährdung der Strasse und der Häuser sind möglich. Historisch sind im Gebiet bereits verschiedentlich Murgänge aufgetreten.

Als Sofortmassnahmen wurde die Sperrung der Strasse und die zeitweise Evakuierung der sensiblen Objekte angeordnet. Zusätzlich wurde Warn- und Räumungspersonal mit entsprechender Ausrüstung mobilisiert. Mit behelfsmässigen Drahtmessungen im Anrissgebiet konnten in der ersten Phase im Mai 1999 die zentralen Rutschbereiche überwacht werden.

Zur langfristigen Überwachung im Sinne eines flexibel ausbaubaren Frühwarn-dienstes werden Laserdistanzmessung an Messreflektoren im Rutschgebiet von einer Messbasis im Gegenhang (Aebi) aus durchgeführt.

Eine Verhinderung der Rutsch- und Murgangtätigkeit ist mit wirtschaftlichen Mitteln nicht zu bewerkstelligen. Punktuelle Verbauungsmassnahmen am W-Ufer des Stigelbachs zur Verhinderung von ausbrechenden Murgängen oberhalb der Schärmtanne wurden empfohlen.

5. Folgerungen

- Hohe induzierte Wasserdrücke führten im Frühjahr 1999 zu einer Reaktivierung der gesamten tiefgründigen Sackungsmasse Blachti - Stigelschwand. Interne hydraulische Erosion und Quellaustritte waren der mutmassliche Grund für spontane flachgründige Rutschungen und Hangmuren an der Front der Sackung.
- Der im Rahmen der Untersuchungen vorgeschlagene und installierte Frühwarn-dienst erlaubt mittels Distanzmessungen eine langfristige Überwachung der Rutschbewegungen.
- Die bisherigen Messungen zeigten ein rasches Abklingen der Bewegungen nach Ende der Schneeschmelze 1999. Im Frühjahr 2000 war nur eine geringe Reaktivierung zu beobachten.
- Zukünftige Ereignisse können mit der Überwachung frühzeitig erkannt werden. Eine wirksame Eindämmung der Murgangereignisse ist mit wirtschaftlichen Mitteln nicht zu bewerkstelligen.
- Die Wahrscheinlichkeit grösserer Rutschereignisse im Bereich Stigelbach - Margeli kann heute nur bedingt beurteilt werden. Entsprechende Daten längerer Beobachtungsperioden fehlen.

Die Rutschung Gryfenbach (Lauterbrunnen, BE) - Ihre dramatische Entwicklung im Jahr 1999

mit 8 Figuren

HANS RUDOLF KEUSEN *

Zusammenfassung

Die seit langem bekannte Rutschung Gryfenbach beschleunigte sich im Frühsommer 1999 infolge von starker Schneeschmelze und Niederschlägen dramatisch. Von früher 10–20 mm/Jahr nahmen die Bewegungen auf das dreissigfache pro Jahr zu. Das Rutschgebiet ist ca. 30–40 ha gross. Die Rutschmasse besteht aus moräneartigen Lockergesteinen und hat ein Volumen von gegen 20 Millionen Kubikmeter. Messungen zeigen, dass die Bewegungen sich jeweils im Frühsommer beschleunigen, um danach wieder langsam abzuklingen. Ursache der Bewegung ist das in höheren Lagen versickernde Schmelzwasser, welches über versackte Felsmassen rasch zur Rutschmasse gelangt und hier hohe Porenwasserdrücke aufbaut.

1. Die Rutschung Gryfenbach

Die wohl seit langer Zeit existierenden Hangbewegungen im Gebiet Gryfenbach ob Lauterbrunnen wurden bereits kurz nach Inbetriebnahme der Grütschalpbahn (BLM) vor 110 Jahren erkennbar. Sie führten zu Deformationen am Bahntrassee. Die Bahn bewältigte diese Verschiebungen durch ein fortwährendes Nachrichten des Gleises. Anhand der Deformationen der Bahnkonstruktion lässt sich heute für die letzten 100 Jahre eine Hangbewegung von durchschnittlich 10–20 mm/Jahr rekonstruieren. Die seit 1962 bestehenden Messungen eines Triangulationspunktes, resp. seit 1993 ausgeführten Vermessungen der Bahnkonstruktion bestätigen diese Werte.

2. Die Entwicklung im Jahr 1999

2.1 Die Witterung

Das Winterhalbjahr 1998/99 war durch eine ausserordentliche Nässe geprägt. Bereits zwischen September und Dezember 1998 fiel sehr viel Regen, z.T. 50 % über dem langjährigen Mittel. Beim Einwintern war der Untergrund mit Wasser gesättigt. Der Winter überraschte dann mit extrem grossen Schneemengen. Zwischen

* Geotest AG, Birkenstrasse 15, 3052 Zollikofen

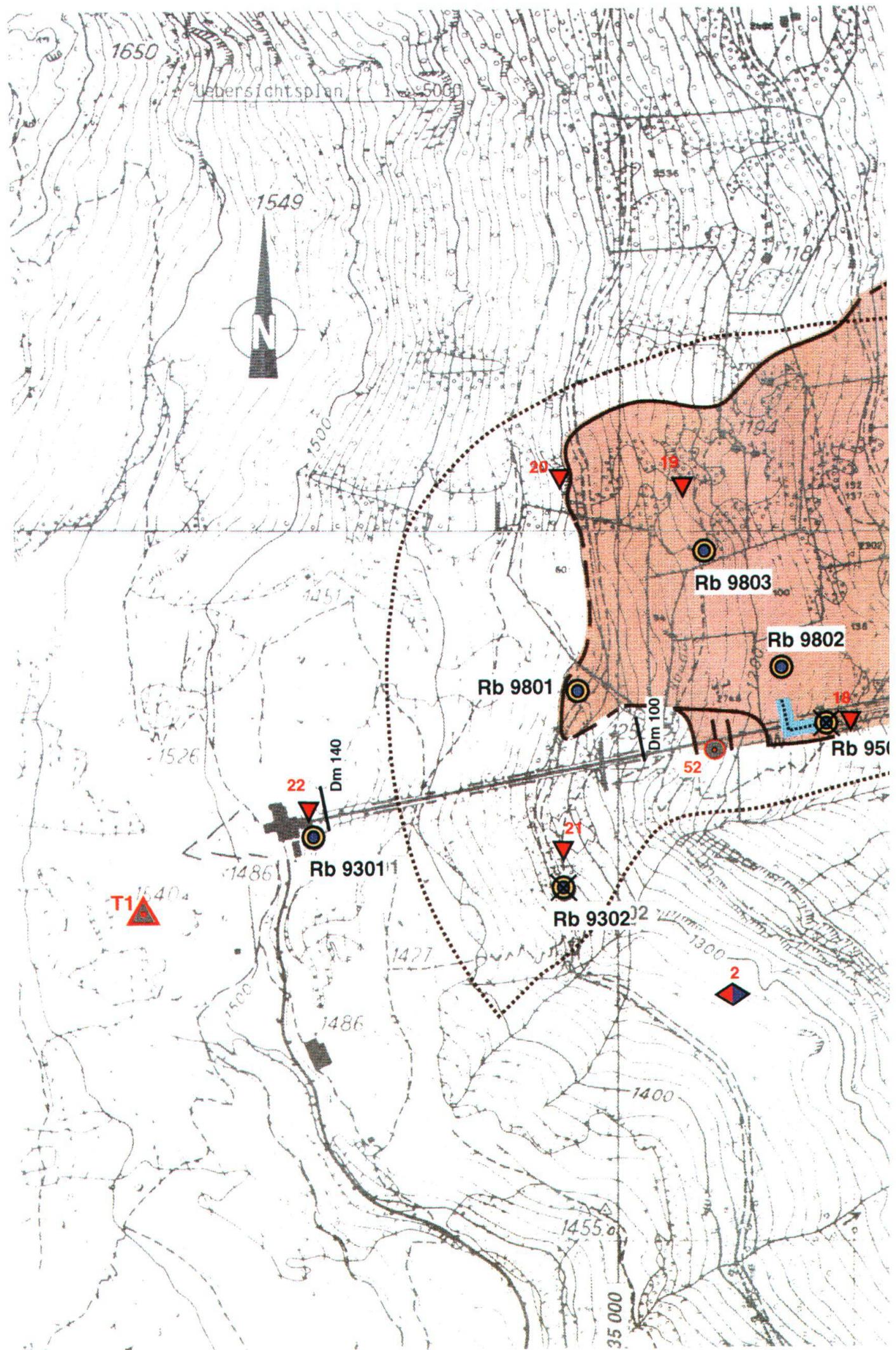


Fig. 2

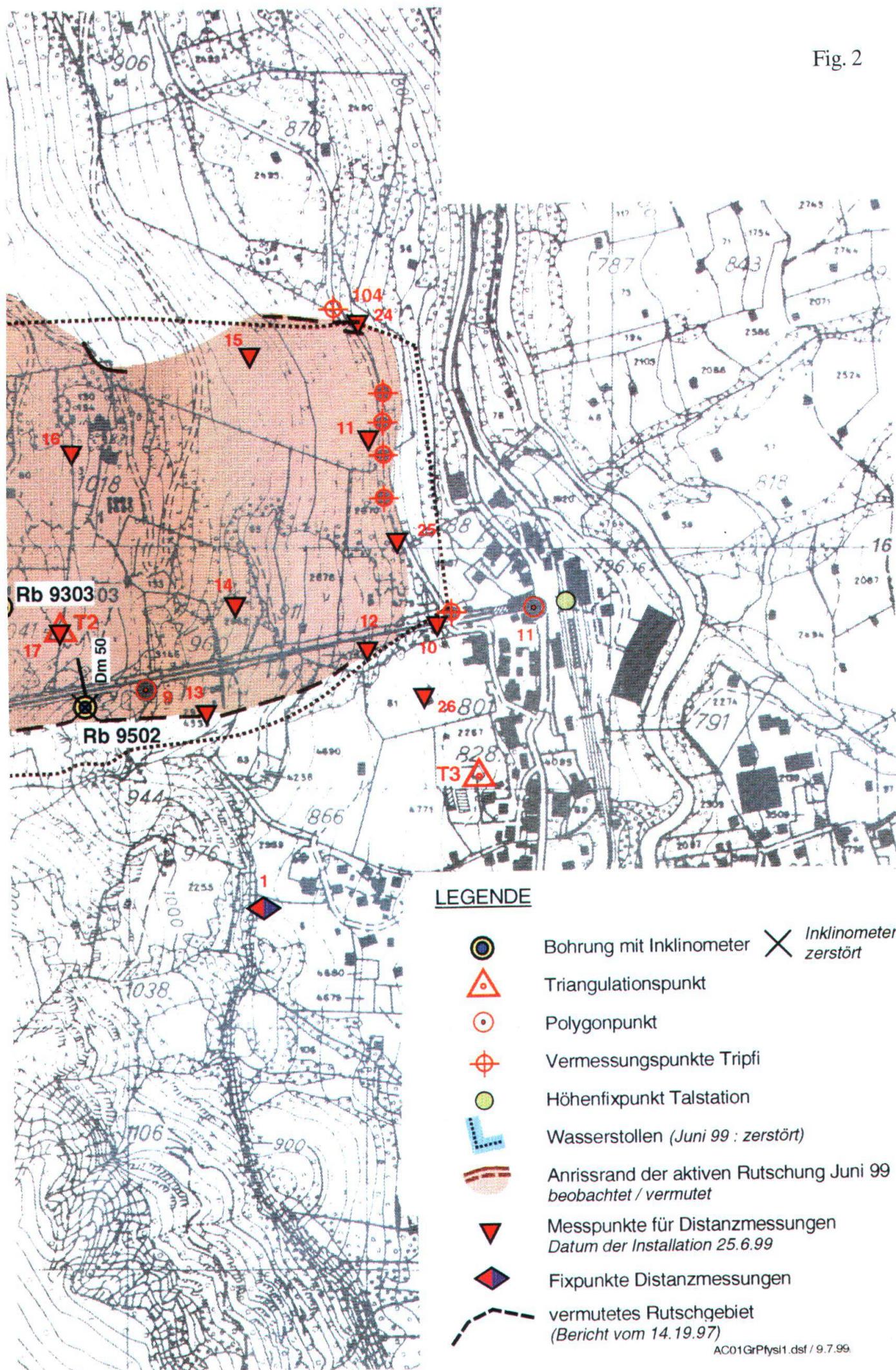




Fig. 1: Blick von Osten (Basisstation Distanzmessungen 853.16 m ü.M.) auf das Rutschgebiet Gryfenbach.

September 1998 und April 1999 betrug die Niederschlagsmenge in Lauterbrunnen insgesamt 1'354 mm. Dies sind 152 % des Normalniederschlages (Fig. 3). Die im April 1999 auf Höhe 2'000 m ü.M. noch über 3 m mächtige Schneedecke mit einem Wasserwert von 1'400 mm baute sich in der Folge rasch ab. Zwischen dem 27.4. und 8.6.1999, d.h. innerhalb von 1½ Monaten wurde damit fast die Wassermenge eines ganzen Jahresniederschlages freigesetzt.

2.2 Das Einsetzen der beschleunigten Rutschbewegung

Wegen der vorhandenen Schneemengen wurde das Rutschgebiet erst spät, im Mai, zugänglich. Bis zu diesem Zeitpunkt waren bereits überall im ganzen Kanton Bern grössere und kleinere Rutschungen erfolgt. Auch die Lütschentäler waren von grösseren Ereignissen betroffen. Im Gebiet Gryfenbach entstand im sog. Schlossersritt Ende Mai ein grosser, über mehrere Hundert Meter weit verfolgbarer Anriss. Durch die starken Bewegungen wurden die Gleisanlage der BLM beschädigt und ein alter Entwässerungsstollen verschüttet. Nach aufwändigen Reparaturarbeiten konnte der Bahnbetrieb wieder aufgenommen werden.

Zur Überwachung der Hangbewegungen wurden im Sinne von Frühwarndiensten folgende Messungen eingerichtet:

- Drahtmessungen über den oberen Abrissrand;
- Messungen mit einem Kleinlaser entlang des Trassees der BLM;
- Inklinometermessungen in bestehenden Bohrungen;
- Distanzmessungen vom Gegenhang.

Alle Messungen machen die äusserst starke Beschleunigung der Hangbewegung ab Ende Mai 1999 auf bis 10 mm/Tag deutlich. Dies ist kurzzeitig bewachtet das Hundert- bis Dreihundertfache der Hangbewegungen vor 1999.

Die Beschleunigung kann am Inklinometer 93.03 (Gleithorizont in 58 m Tiefe!) und am Triangulationspunkt T₂ veranschaulicht werden (Fig. 4, 5 und 6).

3. Geologie und Hydrogeologie der Rutschung Gryfenbach

Südlich des Gryfenbaches bilden hohe Felswände aus Malm und Dogger den westlichen Rand des Lauterbrunnentales. Im Gebiet der Grütschalpbahn dürfte eine geologische Störung vorhanden sein, der Fels ist versackt und taucht gegen Norden steil ab. Er ist hier von mächtigen Ablagerungen aus Moräne, Block- und Gehängeschutt überdeckt. Bereits auf der Axe der Bahn liegt der Fels in Tiefen von 10–30 m. Bei Bohrung 93.03 beträgt die Felsüberdeckung ca. 60 m, sie dürfte gegen Norden weiter zunehmen.

Die Lockergesteine über dem Fels sind äusserst inhomogen und dokumentieren eine komplexe Entstehungsgeschichte. Tonige moräneartige Sedimente wechseln mit kiesig-blockigen Horizonten.

Wegen des meist hohen Tonanteils sind die Lockergesteine im Allgemeinen gering durchlässig. Die Grundwasserverhältnisse sind äusserst komplex. Es ist kein durchgehender Hangwasserspiegel vorhanden. Einzelne Bohrungen 93.01, 93.02, 93.03, 98.01 und 98.03 sind praktisch trocken. Hangwasser wurde in 95.01, 95.02 und 98.02

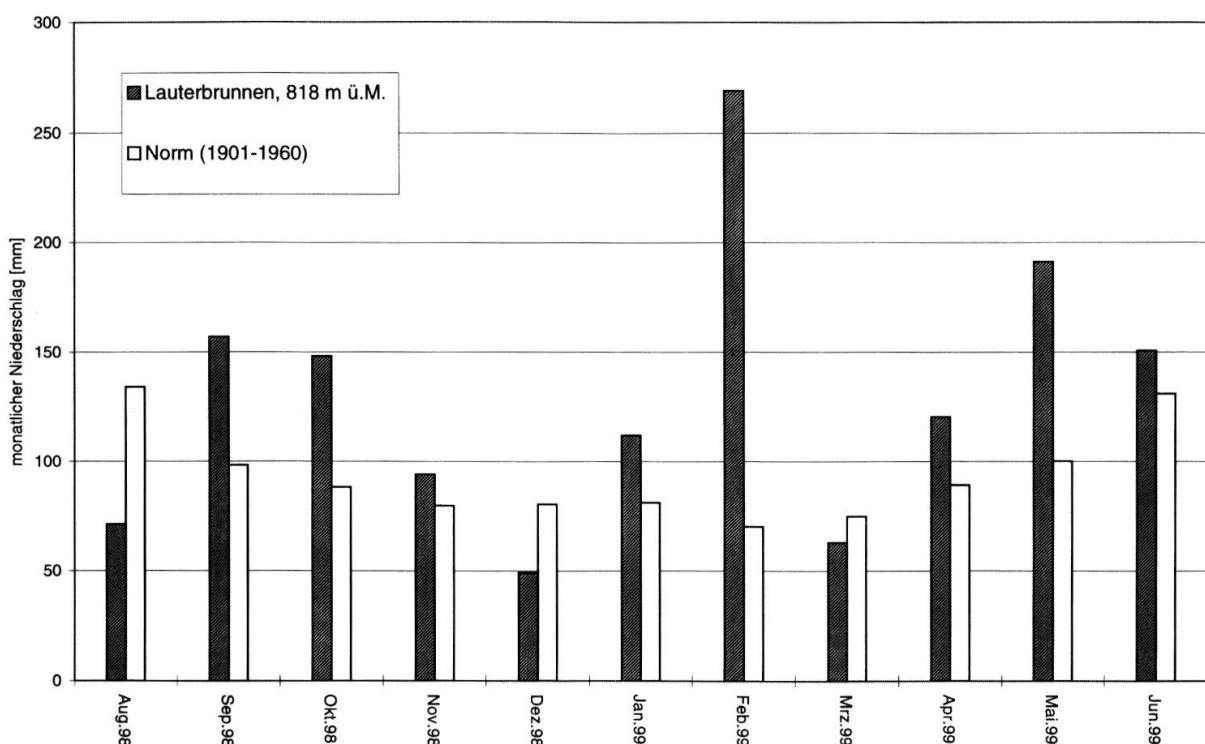
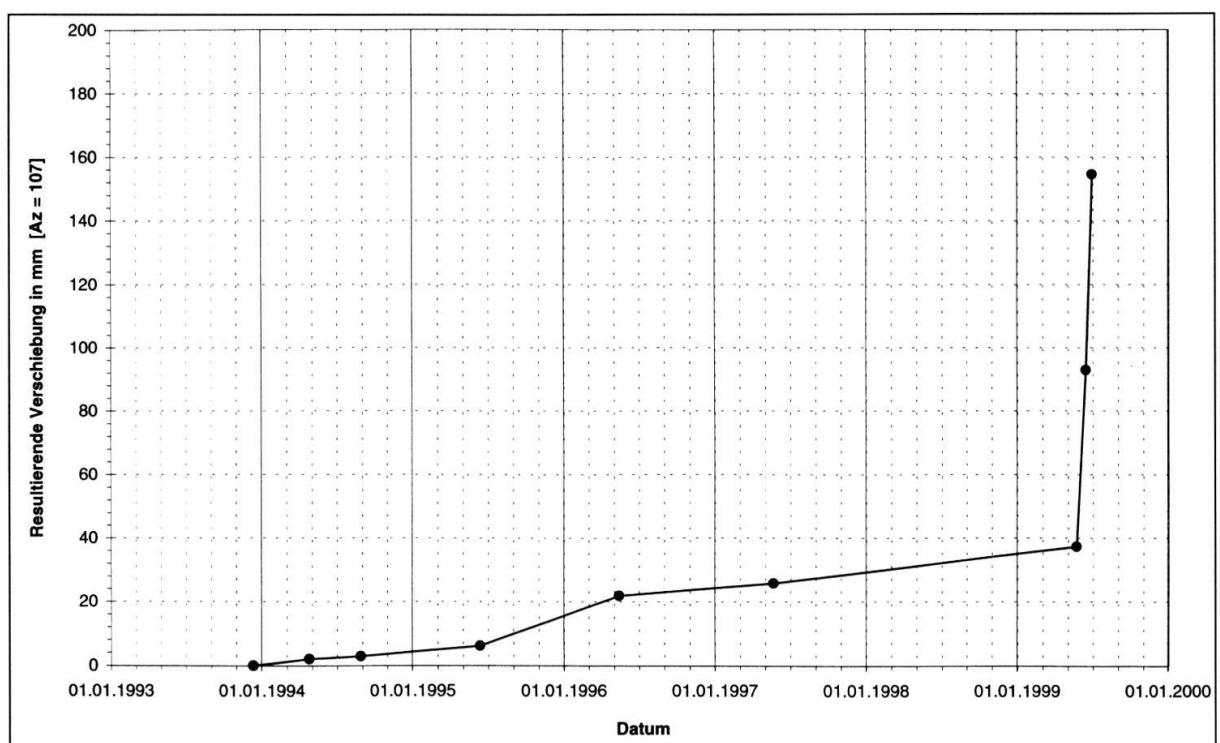
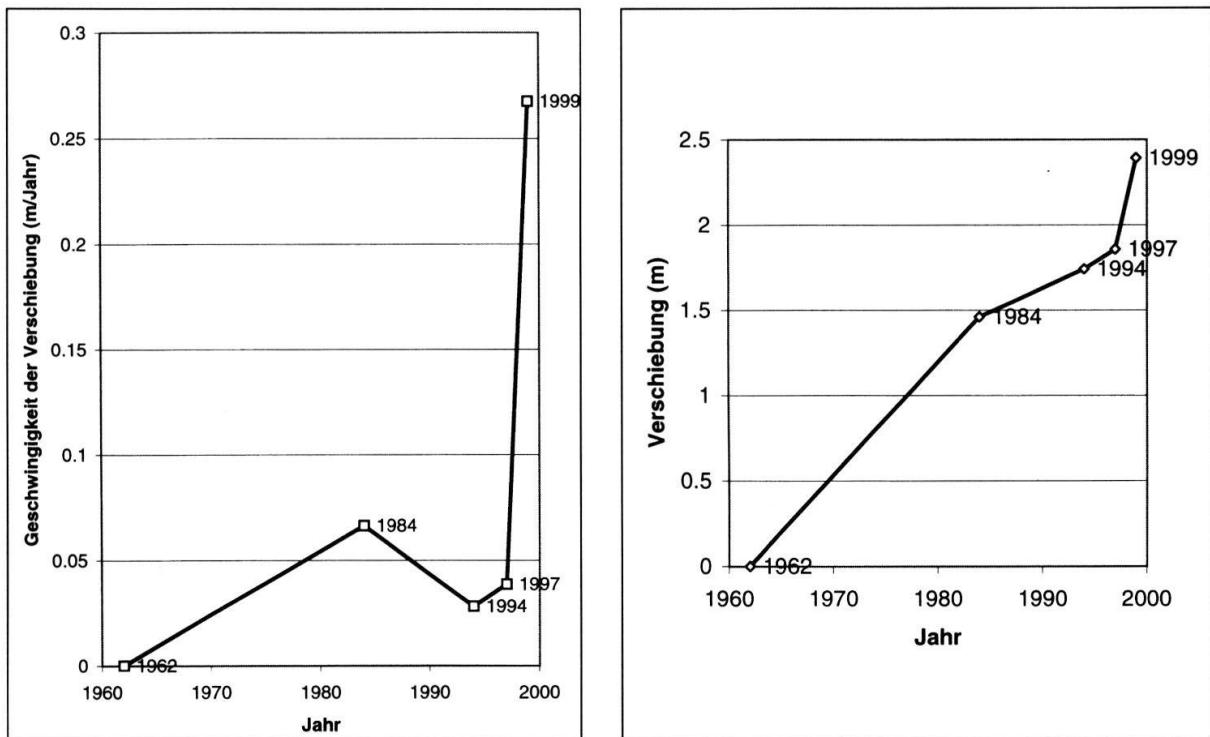


Fig. 3: Monatliche Niederschlagsmengen der Station Lauterbrunnen im langjährigen Vergleich.



Objekt	Sanierung Terrasse West
Auftrag	91215
Bohrung	B9303
Ort	Lauterbrunnen

Inclinometer- messungen

GEOTEST

Nullmessung:	13.12.1993
	14.06.1995
	15.05.1996
	23.05.1997
	25.05.1999
	17.06.1999
	02.07.1999

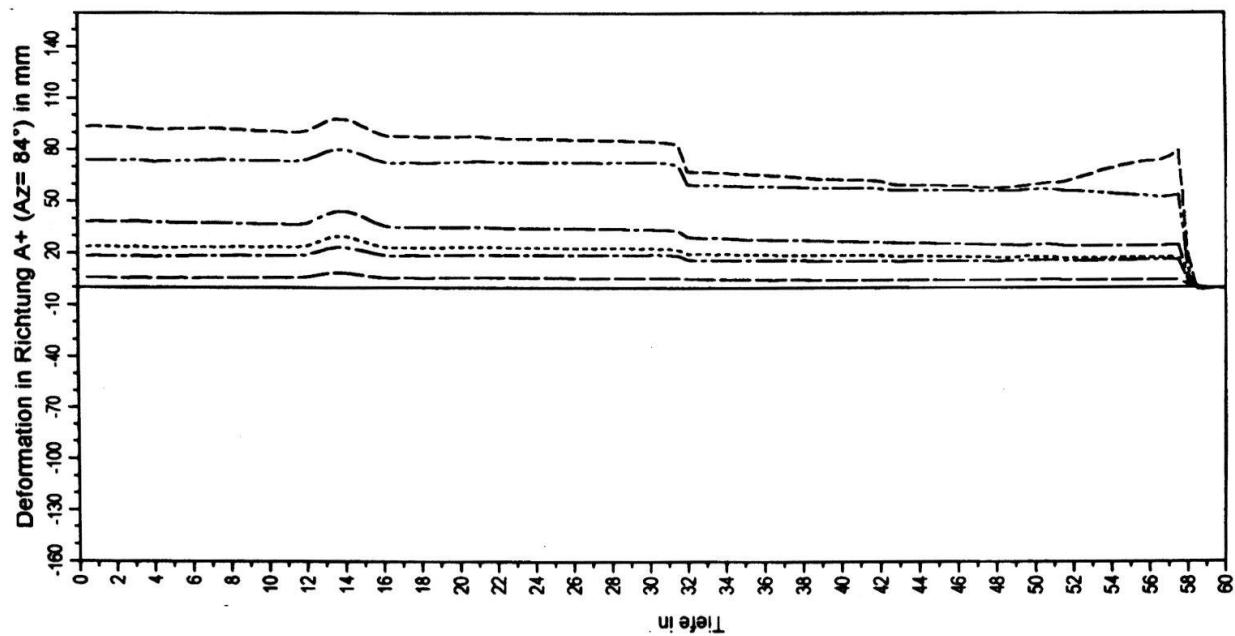
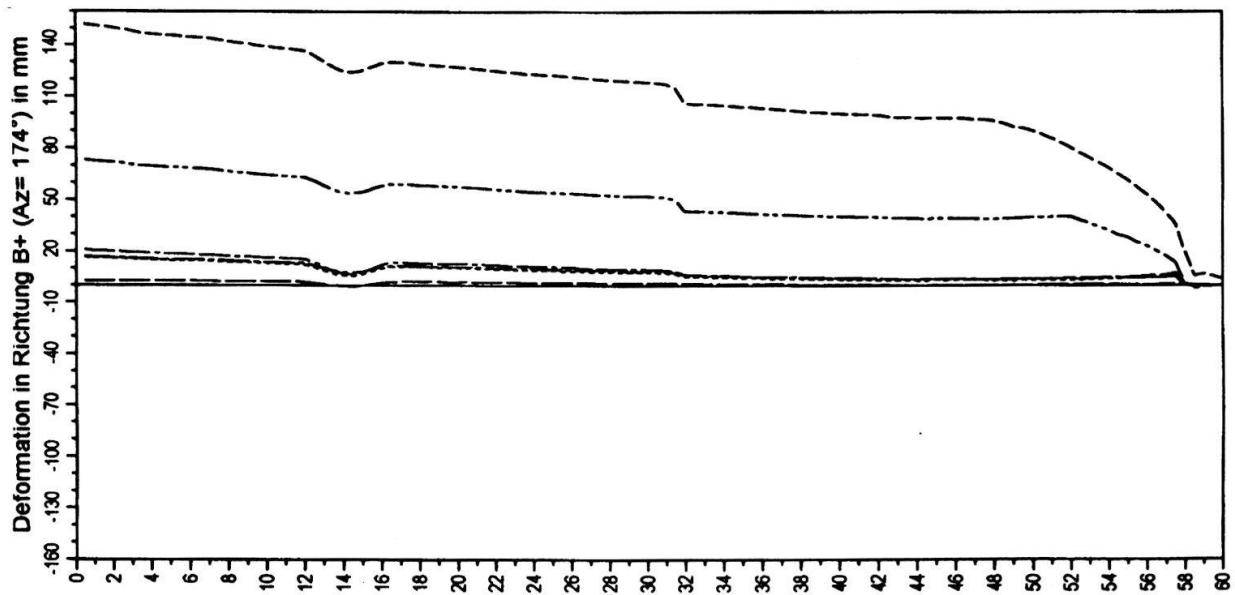
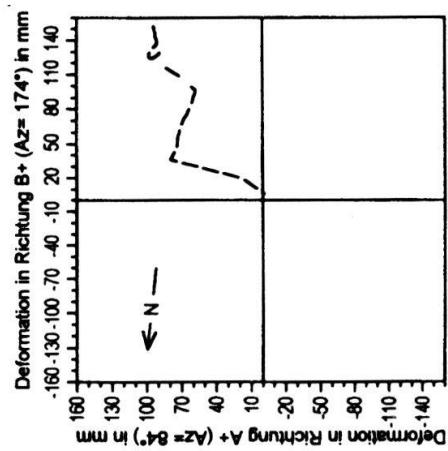


Fig. 6: Inclinometer 93.03.

in Tiefen von ca. 10 – 12 m angetroffen. In diesem Gebiet um den alten Wasserstollen, wo sich auch zahlreiche Wasserfassungen befinden, ist viel Hangwasser vorhanden. Im Übrigen ist das Rutschgebiet trocken und frei von Oberflächengewässern.

4. Geologisches Modell der Rutschung Gryfenbach; Kausalität

Bedingt durch die sehr starken Bewegungen und die dabei entstandenen Anrisse kann das aktive Rutschgebiet gut kartiert und abgegrenzt werden. Es umfasst eine Fläche von ca. 30 – 40 ha. Der Rutschkörper ist ca. 400 – 500 m breit und etwa 800 m lang. Der Anriss befindet sich auf Höhe 1'300, die Stirne bei 850 m ü.M. Die Steilheit des vorwiegend bewaldeten Hanges beträgt ca. 25° . Die südliche Begrenzung bildet der Gryfenbach, wo die Rutschmasse ausdünnnt. Die obere sehr klare und scharfe Abgrenzung verläuft unter den Felspartien von Schlossersritt. Diese Felsmassen dürften nicht anstehend, sondern viel mehr versackt und tiefgründig zerklüftet sein (Fig. 7).

Die Begrenzung gegen Norden verläuft auf einer Linie, die ca. 400 m weit nördlich von der BLM parallel zu dieser verläuft.

Nicht klar, aber von grösster Bedeutung ist die Abgrenzung der Rutschmasse auf der Talseite. Punkt 10 unmittelbar oberhalb des Lehnenviaduktes bewegt sich deutlich, während Punkt 11 (Unterführung alte Isenfluhstrasse) ruhig ist.

Die bewegte Masse erreicht Mächtigkeiten von über 60 m. Es sind schätzungsweise 15 – 20 Mio m³ Lockergestein in Bewegung.

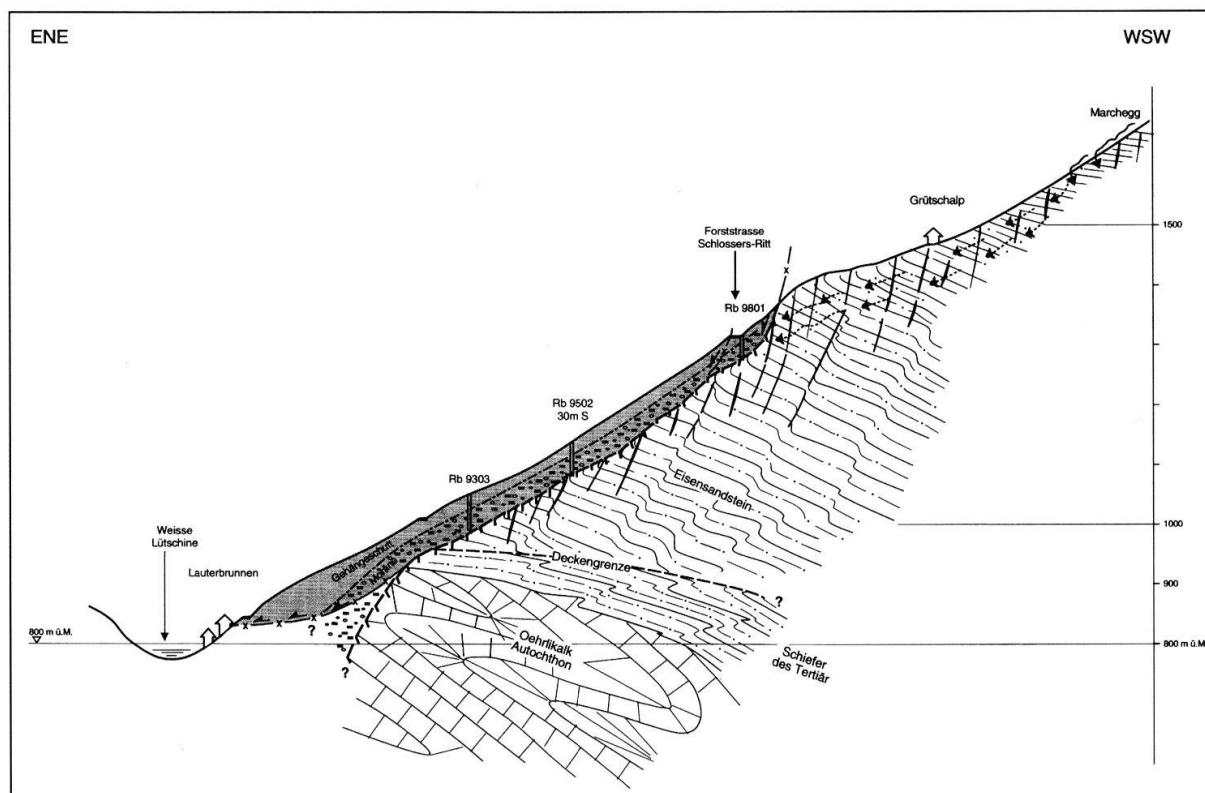


Fig. 7: Geologisches Modell der Rutschung Gryfenbach.

Es ist wahrscheinlich, dass die Rutschmasse in der Nähe der alten Isenfluhstrasse auf stabilerem Untergrund "aufsitzt" und hier "aufbrandet". Die Konsequenzen dieses in Anbetracht der sehr grossen nachschiebenden Masse beunruhigenden Vorganges sind für die Abschätzung des Gefahrenpotentials von grosser Bedeutung.

Neben geologischen Gegebenheiten, welche sich in ungünstigen Materialeigenschaften (Scherfestigkeit) manifestiert, spielt Hangwasser die Hauptursache der Bewegungen.

Das Wasser dürfte über Klüfte und Spalten aus den versackten Felsmassen des Dogger oberhalb des Alpweges (Höhe ca. 1'300 m ü.M.) zufließen. Auf welcher Tiefe der Zufluss stattfindet, ist unbekannt: wahrscheinlich liegt er tiefer als 50 m unter Terrain. Vermutlich trifft hier zerklüfteter Fels mit einer grossen Wasserwegsamkeit auf gering durchlässige Lockergesteine. Durch den so gestörten weiteren Abfluss bauen sich hohe Porenwasserdrücke auf, welche zur beobachteten Hangbewegung führen.

Das Einzugsgebiet des Wassers dürfte in den Flanken von Bletschfluh - Marchegg - Bletschenalp zu suchen sein. Hier versickert das Wasser, insbesondere bei Schneeschmelze, in grossen Mengen in den felsigen Untergrund. Im stark zerklüfteten, versackten Fels fliesst es rasch talwärts ins Rutschgebiet.

Eine Lokalisierung der Wasserwege ist bisher nicht gelungen. Ihre Lage (Ort, Tiefe) ist unbekannt. Dieser Umstand macht die Projektierung von wirksamen Massnahmen, welche auf eine Entwässerung des Hanges anstreben müssen, schwierig.

5. Dynamik der Rutschung

Die ab Mitte Juni 1999 zur Verfügung stehenden systematischen Messungen im ganzen Rutschgebiet (Fig. 8) zeigen eine erstaunliche Dynamik der Hangbewegung. Dabei sind folgende Aspekte besonders bemerkenswert:

- a) Das sehr heftige Anspringen der Hangbewegung. Aufgrund von Geländebeobachtungen und der Drahtmessungen begannen die Bewegungen bereits ca. Mitte bis Ende Mai 1999. Die Bewegung erreicht stellenweise über 10 mm/Tag.
- b) Die gesamte Rutschmasse von gegen 20 Millionen Kubikmeter verhält sich gleichförmig: sie beschleunigt und verlangsamt sich als ganze Masse. Diese Feststellung ist überraschend und spektakulär, weil die Rutschmasse nicht ein zusammenhängender Felskörper, sondern vielmehr ein inhomogenes Paket aus Lockergesteinen ist. Dieses Verhalten kann dadurch erklärt werden, dass die Rutschmasse trotz ihrer Inhomogenität an der Basis durch eine klare und scharfe Gleitfläche, auf welcher sich der ganze grosse Körper bewegen kann, begrenzt ist. Die Inklinometermessungen bestätigen dies.

Dass sich der untere Teil der Rutschung deutlich langsamer bewegt als der obere illustriert das "Aufsitzen" der Masse im Tal. Was hier genau geschieht, ist noch unbekannt. Vermutlich wölbt sich die Stirne Rutschmasse auf. Dies könnte der Grund für die früheren spontanen Tripfi-Rutschungen (1966, 1983) in diesem Gebiet sein.

- c) Ab Ende August 1999 verlangsamt sich die Rutschung zunehmend. Der untere Bereich kommt bereits Ende Jahr zum Stillstand. Bis Anfang Mai 2000 ist die ge-

**Lauterbrunnen, Gryfenbach,
Ergebnisse der Distanzmessungen**

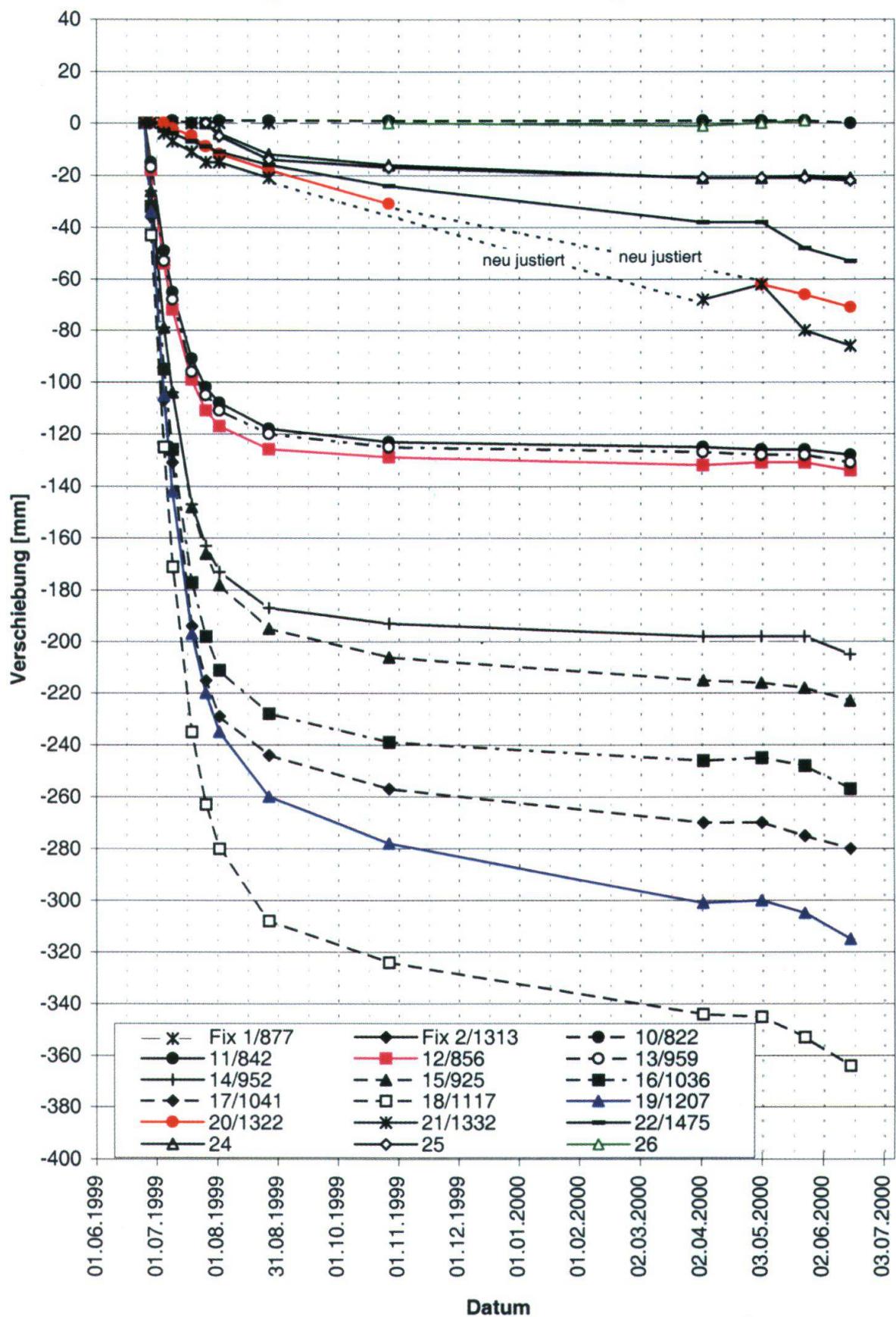


Fig. 8: Ergebnisse der Distanzmessungen zwischen Juni 1999 und Juni 2000.

samte Rutschung praktisch ruhig, um danach langsam zuerst, in den oberen Bereichen wieder “anzuspringen”.

Die Schneeschmelze im Einzugsgebiet (Marchegg) setzte im Jahr 2000 ca. Anfang Mai richtig ein. Die Schneemengen und vor allem auch der Wasserwert waren jedoch wesentlich kleiner als ein Jahr zuvor.

Diese Beobachtungen dokumentieren deutlich die Wirkung der Schneeschmelze auf die Dynamik der Rutschmasse. Die Schneeschmelze allein, auch wenn dabei in kurzer Zeit viel Wasser anfallen kann, erklärt aber nicht den ganzen Vorgang. Das Wasser muss zugleich rasch und konzentriert zum Rutschkörper gelangen, um diesen so vehement und auf breiter Front in Bewegung setzen zu können. Beobachtungen im Einzugsgebiet zeigen, dass das Schmelzwasser in Bächen über die Felsflanken abfließt, dann an mehreren Stellen versickert und wahrscheinlich im zerklüfteten, evtl. verkarsteten Felsuntergrund rasch abfließt. Im Gebiet Schlossersritt tritt das Wasser in noch unbekannter Tiefe aus dem Fels und baut auf Anriss- und Gleitfläche des Rutschkörpers einen hohen Porenwasserdruck auf, welcher die Masse grossräumig in Bewegung setzt. Nach dem Rückgang des Wasserzuflusses baut sich der Porenwasserdruck kontinuierlich ab, die Rutschung verlangsamt sich und kommt zum Stillstand. Dieser Vorgang wiederholt sich jedes Jahr mit unterschiedlicher, von den Schneemengen und dem Schmelzvorgang abhängiger Intensität. Sommerliche Starkregen dürften eine vergleichsweise geringe Wirkung haben.

7. Die Bedeutung des Jahres 1999

Die ausserordentliche Witterung von Winter und Frühjahr 1999 haben zu einer dramatischen Entwicklung der seit langem bekannten Rutschung Gryfenbach geführt. Es ist wahrscheinlich, dass in den letzten 110 Jahren kein vergleichbares Ereignis stattfand; ein solches hätte von der Bahn registriert werden müssen. Möglicherweise herrschten im Frühjahr 1889 ähnliche Verhältnisse; die BLM wurde ein Jahr später erstellt.

Dank der aussergewöhnlichen Entwicklung, welche die Einrichtung eines Frühwarndienstes erforderlich machte, kann die Rutschung Gryfenbach heute besser verstanden werden. Viele Fragen sind aber noch offen.

Die Hanginstabilitäten am Hinter Königstein (Küttigen, AG)

mit 6 Figuren

MARK EBERHARD *

Zusammenfassung

Ende Februar 1999 löste sich am Brunnenberg nördlich von Aarau rund 150'000 m³ Gestein, stürzte in die Tiefe und floss in Form einer wassergesättigten Masse bis an die Benkenstrasse. Aufgrund des geologischen Aufbaues am Brunnenberg sind weitere Felsstürze zu erwarten, welche die Anwohner in diesem Raum gefährden. Letztlich auslösendes Moment des Felssturzes war die Kombination von intensiven Regenfällen und der Schneeschmelze, welche zu einer Übersättigung der Opalinuston-Schichten führte und diese schliesslich zum "Fliessen" brachte.

1. Ereignis

Der sich im Aargauer Jura in Küttigen nördlich von Aarau (Koordinaten: 644'325/252'700) im Februar 1999 ereignete Felssturz darf hinsichtlich seiner Grösse, Dynamik und seinem Gefährdungspotential für die Anwohner in dieser Gegend als herausragendstes Naturereignis der letzten Jahre gelten.

In der Nacht vom 23. auf den 24. Februar 1999 stürzte im nördlichen Teil des Brunnenberges im Bereich Hinter Königstein auf einer Höhe zwischen 710 m ü.M. (Hauptrogenstein) und 660 m ü.M. (Opalinuston) rund 150'000 m³ Gestein in die Tiefe. Es floss stark wassergesättigt in derselben Nacht ca. 800 m Richtung Osten bis unmittelbar an die in diesem Abschnitt auf 480 m Höhe liegende Benkenstrasse (Fig. 1, 2). Frische Ablagerungen am Gegenhang des Abrisses, die entstanden, als die hauptsächlich aus Opalinuston bestehenden Schlammmassen bis 1.5 m über das natürliche Terrain aufgeworfen wurden, zeugen von der grossen Gewalt und der Geschwindigkeit des Ereignisses (Fig. 3). Das entfestigte, mit Wasser vermischt Opalinustonmaterial wurde dabei explosionsartig an den Gegenhang geschleudert, dort zurückgeworfen und ist anschliessend der natürlichen Talung entlang Richtung Benkenstrasse geflossen. Im unteren Drittel des Prozessraumes konnten auf dem gewachsenen Terrain hangparallel verlaufende Rutschstriemen festgestellt werden. Auch diese Striemung, in Kombination mit der sich in diesem Bereich stark verengenden Talung, ist ein Hinweis auf die grosse Geschwindigkeit der Massenbewegung. Während die Gesteinstrümmer der betroffenen Kalke grösstenteils direkt unterhalb der Abrissstelle verblieben (Felssturz), floss die Opalinuston-Slammmasse bis unmittelbar an die Benkenstrasse. Da sie den Fischbach auf-

* Eberhard & Partner AG, Schachenallee 29, 5000 Aarau

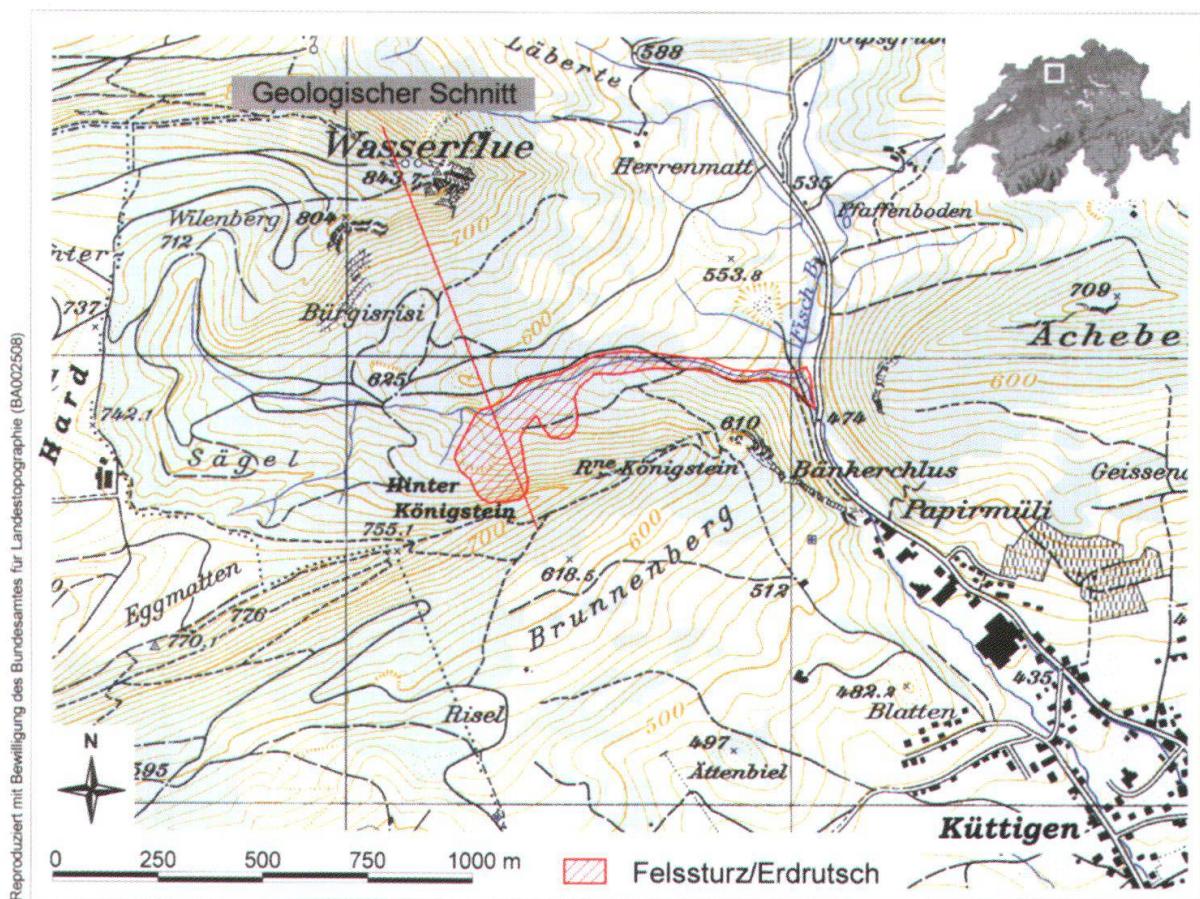


Fig. 1: Topographische Übersicht über das Felssturzgebiet am Brunnenberg in Küttigen (AG).

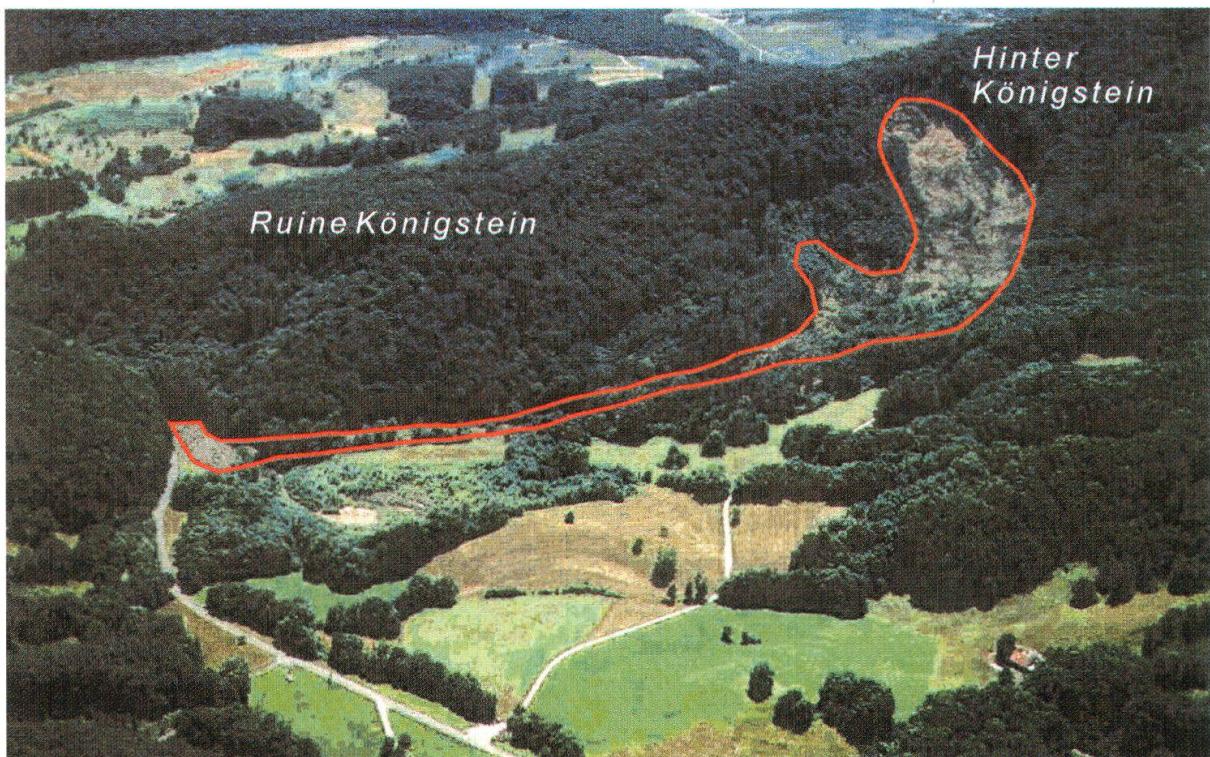


Fig. 2: Gesamtbild über das Felssturzgebiet (Flugaufnahme Richtung Süden).

staute und das ebenfalls aufgestaute Wasser des Wilebergbaches ungehindert in sie eindringen konnte, wurde als Sofortmaßnahme der Fischbach um sie herumgeführt, in ein neues Bachbett verlegt und in der Folge eingedolt. Gleichzeitig wurde der Wilebergbach im oberen Teil des Felssturzes in einem teils offenen, teils geschlossenen Gerinne um die Schlammmasse herumgeführt und in den Fischbach eingeleitet. Da sich die Schlammmasse während der Ausführung der beschriebenen Massnahmen weiter Richtung Küttigen zu bewegte und ein murgangähnlicher Ausbruch zu befürchten war, wurde die Benkenstrasse gesperrt und ein Konzept zur Alarmierung und Evakuierung der Anwohner aufgestellt. Die hier geschilderte Rutschung kann als periodisch rückwärts schreitend respektive progressiv bezeichnet werden. Schon 1961 und 1974 wurden in diesem Bereich Felsbewegungen festgestellt, welche vorerst im Opalinuston verblieben und erst jetzt auch in die höheren Schichten der Murchisonae- bis Hauptrogenstein-Schichten hinaufgriffen.

2. Disposition

2.1 Grunddisposition

Geologisch baut sich der Brunnenberg vom Wilebergbach bis an die Krete beim Hinter Königstein aus den Opalinustonschichten über die Murchisonae-Kalke bis zu den kompakten Hauptrogensteinkalken auf (Fig. 3, 4). All diese Schichten gehören dem Dogger an. Sie wurden durch den letzten Schub der Alpenfaltung steil gegen Norden aufgestellt und fallen somit mit rund 60° gegen Süden Richtung Aarau ein. Neben dieser Schichtung sind die Kalke stark von in nördlicher Rich-

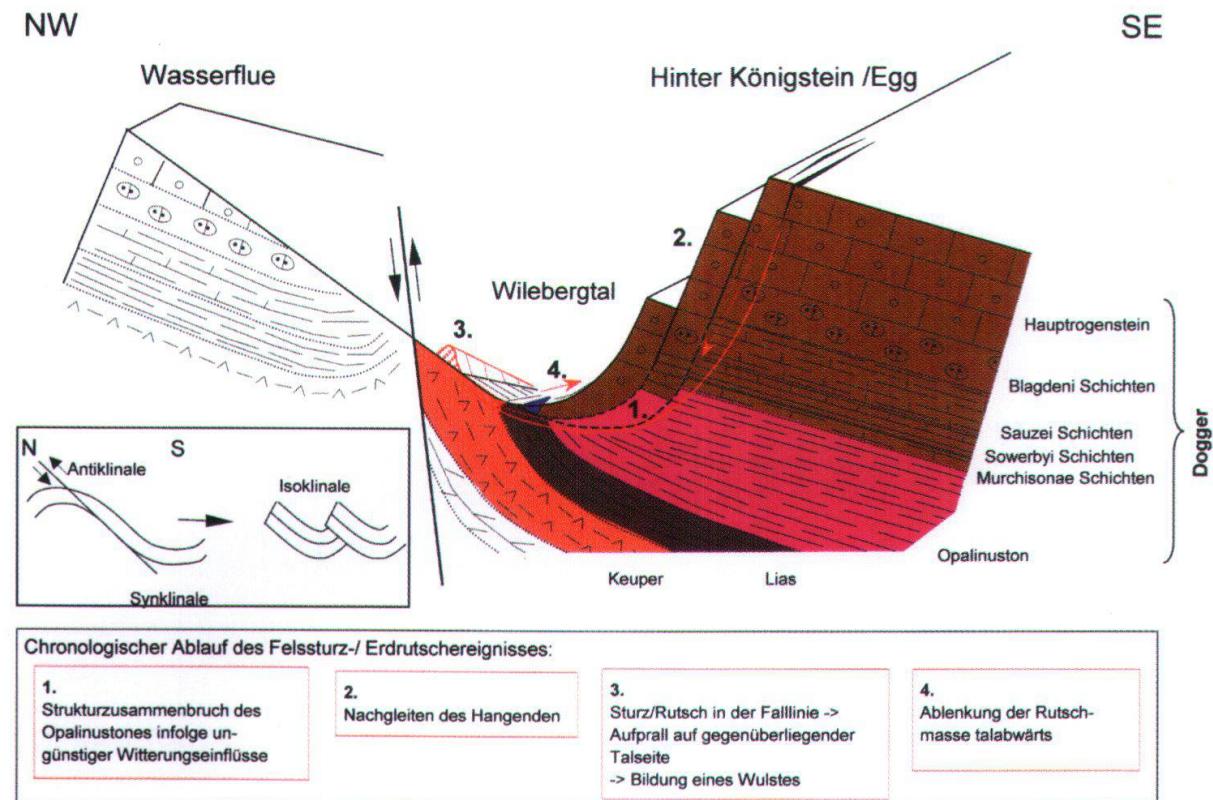
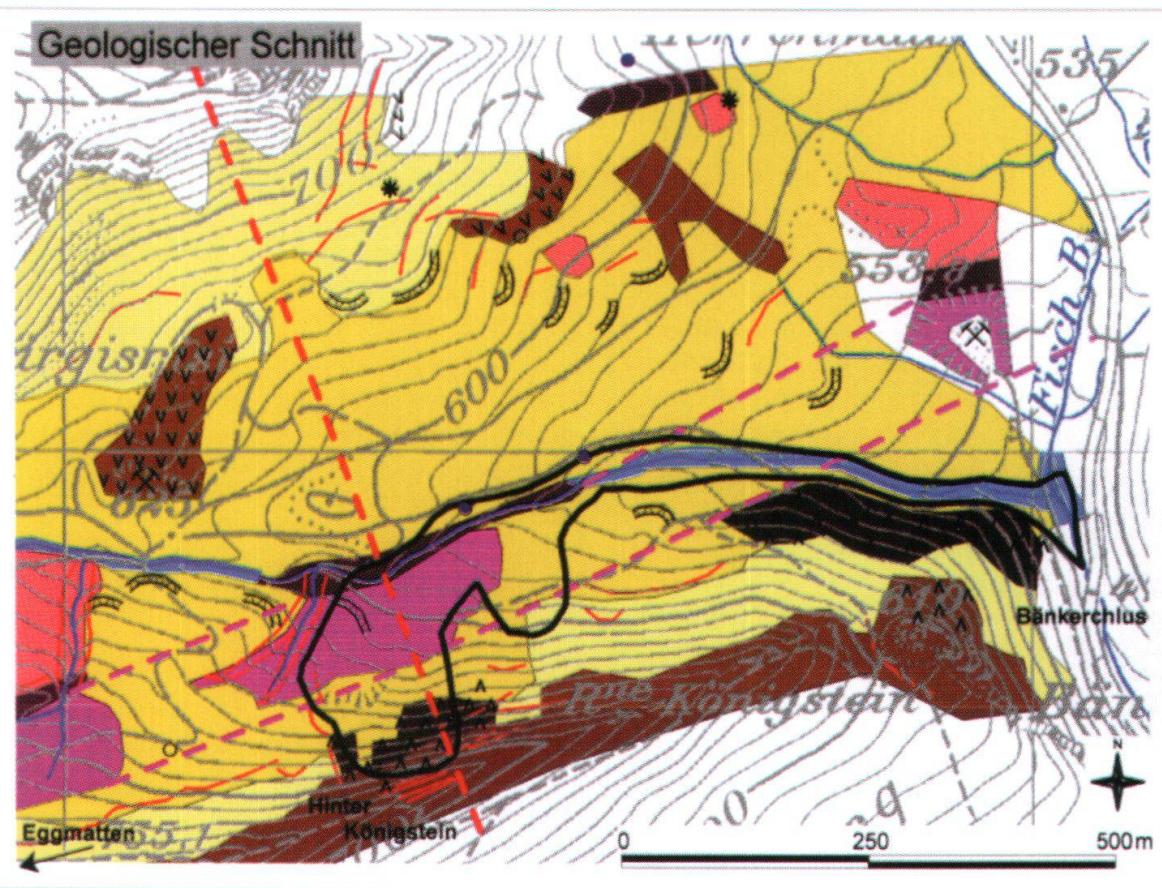


Fig. 3: Geologischer Schnitt durch den Felssturz im Wasserflue-Brunnenberggebiet und chronologischer Ablauf des Felssturzereignisses.



Legende

□	Felssturz/Erdrutsch	■	Gehängeschutt trocken
↖	Anrisse	■	Gehängelehm
△△	Rutschwülste	■	Alluvionen
VVVV	Versackungen	■	Hauptrogenstein
XX	Ausbisslinien des Opalinustones	■	Unterer Dogger
○ ●	Quellen ungefasst/gefasst	■	Opalinuston
*	Doline	■	Lias
✗	Grube	■	Keuper

Fig. 4: Geologische Karte des Brunnenberggebietes.

tung fallenden Klüften durchzogen. Die Opalinustonschichten ziehen nördlich des Brunnenberges von Eggmatten bis in den Bereich nördlich der Bänkerchlus (Fig. 4). Die Schichten entfernen sich hierbei von Westen nach Osten vom eigentlichen Hangbereich des Brunnenberges über den Talbereich des Wilebergbaches an den Gegenhangbereich der Wasserflue.

Die starke Klüftung der Kalkschichten im Bereich der Felskrete ermöglicht dem Wasser einen ungehinderten Zugang bis tief in diese hinein. Durch Frost-Tau-Zyklen, vor allem am Übergang vom Winter zum Frühling, werden diese Klüftungen

zusätzlich aufgeweitet und vergrössert, so dass das Wasser bis zu den schlecht durchlässigen Opalinustonschichten gelangt, sich an diesen staut und in Form von Quellen hervortritt. Die Hauptentwässerungsrichtung verläuft südwärts, im Fallen der Schichten, also in entgegengesetzter Richtung der Rutschung. Da jedoch auch der quellfähige Opalinuston von feinen Kluftsystemen durchzogen ist, dringt das Wasser ebenfalls tief in diese Schichten ein und weicht sie auf. Der Opalinuston ist im trockenen Zustand ein festes Gestein. Durch Wasserzufuhr wird es jedoch stark aufgeweicht, so dass es vom festen in den "fliessfähigen" Zustand überreten kann. Durch das auf den Opalinustonschichten lagernde Gewicht der Murchisonae- bis Hauptrogenstein-Kalke wird der Ton zusätzlich instabil. Das System gerät aus dem Gleichgewicht und die Tonschichten werden durch die Kalküberlast talwärts gedrückt. Die überliegenden Kalkschichten verlieren dadurch den Halt und stürzen ebenfalls zu Tale. Der hier geschilderte Vorgang wird durch das im Bereich des Brunnenberges vorliegende steile Relief noch zusätzlich begünstigt, da an der Basis die den Vorgang bremsende Fusslast weitgehend fehlt.

2.2 Variable Disposition

Die extremen Witterungsverhältnisse am Übergang vom Winter zum Frühling 1999 begünstigten die oben geschilderten Mechanismen und verschlechterten die schon ungünstige geologisch-hydrogeologische Grunddisposition. Anfang Januar bis zum Ereignis am 23./24. Februar 1999 erfolgten mehrere Frost-Tauphasen. Vor allem zu Beginn des Februars sanken die Temperaturen bis gegen -15°C ab, um sich anschliessend wieder bei $5 - 6^{\circ}\text{C}$ einzupendeln. Diese Daten stammen von der Wetterstation Buchs/Suhr auf rund 387 m ü.M.. Tiefgreifende Frosteinwirkungen und eine in der Auftauphase verursachte starke Durchnässung des Opalinustones waren die Folge. Vor dem Ereignis erfolgten zusätzlich ergiebige Regenfälle, welche durch das Wasser der Schneeschmelze noch ergänzt wurden und die schon gesättigten Bodenschichten zusätzlich mit Wasser belieferten.

Letztlich auslösendes Ereignis dürfte die Kombination von ergiebigen Regenfällen und einsetzender Schneeschmelze gewesen sein (Fig. 5).

3. Gefahrenmanagement

Die unruhigen Geländeformen im Bereich Hinter Königstein bis Eggmatten zeigen auf, dass im westlichen Teil (Richtung Eggmatten) schon mehrere Hangbewegungen erfolgt sind (Fig. 4). Die Steilheit des Geländes ist in diesem hinteren Bereich des Wilebergtales nicht mehr so ausgeprägt wie im vorderen, vom jetzigen Felssturzgebiet bis in den Bereich der Ruine Königstein gelegenen Teil. Die Ausgleichsbewegungen sind im hinteren Talbereich somit schon grösstenteils erfolgt. Kleinere Hangbewegungen sind jedoch nach wie vor zu erwarten. Von der Abrissstelle Richtung Bänkerchlus bis dort, wo der Opalinuston in den Gegenhang hineinzieht, ist die Steilheit des Geländes jedoch gross und weitere grösse Felsstürze sind auch in Zukunft zu erwarten.

3.1 Überwachungsmethoden

Nach den ersten Massnahmen, wie der Umleitung des Fischbaches, der Verlegung des Wilebergbaches (Entwässerung der Schlammmasse), der ständigen Beobachtung der Anrissstelle durch Zivilschutzleute und der Beobachtung der Risse auf der

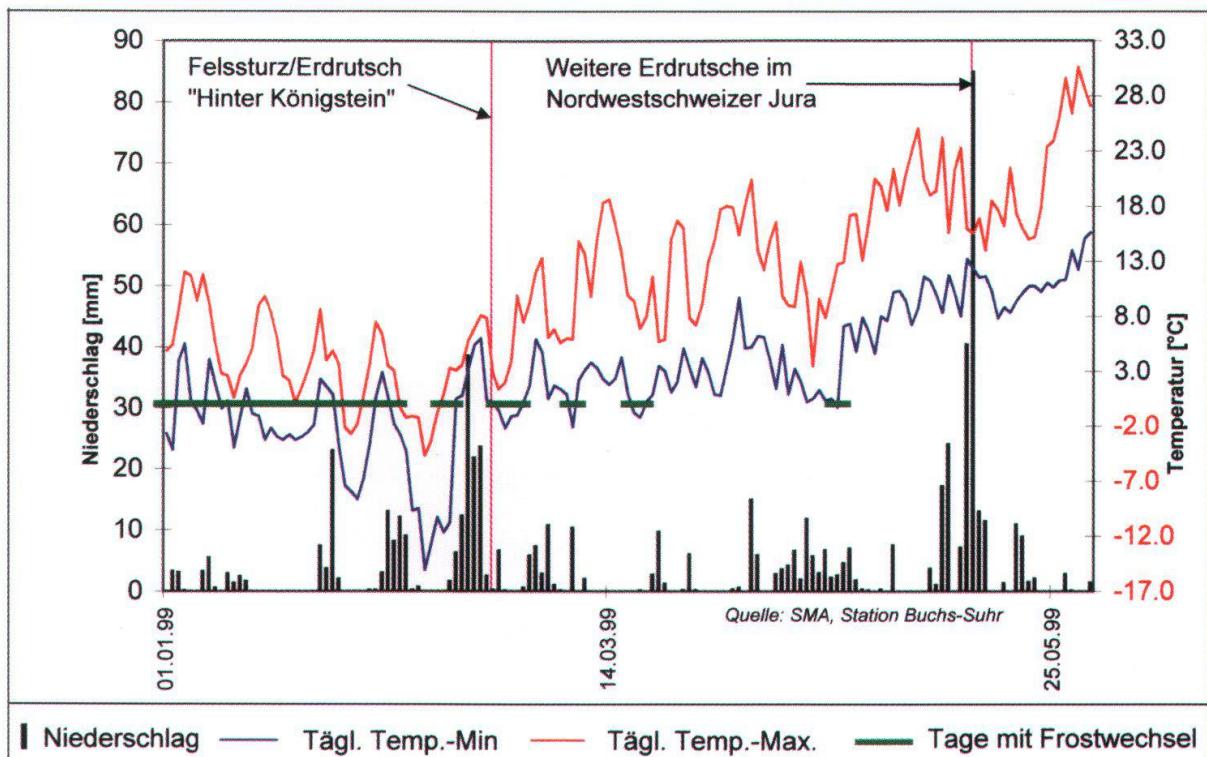


Fig. 5: Die klimatischen Verhältnisse vor, während und nach dem Felssturz.

Krete des Brunnenberges, wurden so bald als möglich exaktere Methoden der Überwachung vorgenommen. Neben der Absperrung des gesamten Gefahrengebiets inklusive der Benkenstrasse wurde zusätzlich ein erstes Sicherheitsdispositiv (Alarmsystem) eingerichtet, mit dem bei weiteren zu befürchtenden Felsstürzen oder Murgängen eine Alarmierung und gegebenenfalls eine Evakuierung der Bevölkerung hätte erfolgen können. In einem zweiten Schritt wurden vom Gegenhang (Liasrippe) aus mittels eines Theodoliten die Felsbewegungen sowie an einzelnen Stellen die Bewegungen des Schlammstromes beobachtet. Zu diesem Zweck wurden entlang der Anrissstelle und in der Felssturzmasse Reflexionsprismen sowie im Schlammstrom einzelne Fixpunkte versetzt und in der Folge Winkelmessungen vorgenommen. Gleichzeitig wurden die Risse auf der Krete des Brunnenberges mittels einfacher Distanzmessungen kontrolliert. Seit einigen Monaten ist dort nun ein automatisches Überwachungssystem installiert. Mittels 6 Weggebern, welche tief in Spalten hinter und seitlich der Abrissstelle installiert sind, werden die relativen Bewegungen der Felspartien (Distanzmessungen) permanent registriert und in einen Datenlogger eingespielen. Das ganze System wird mit Solarnergie betrieben. Bei Überschreitung eines definierten relativen respektive absoluten Bewegungsbetrages im Spaltensystem wird eine Alarmmeldung per Mobilfunk übermittelt. Diese wird interpretiert und je nach Sachlage das Sicherheitsdispositiv in Gang gesetzt. Zur definitiven Interpretation der Bewegungsbeträge werden die gesamten Daten periodisch vor Ort abgerufen.

3.2 Verhalten der Anrissstellen

Die mittlerweile über eine Periode von rund 12 Monaten erfolgten Winkelmessun-

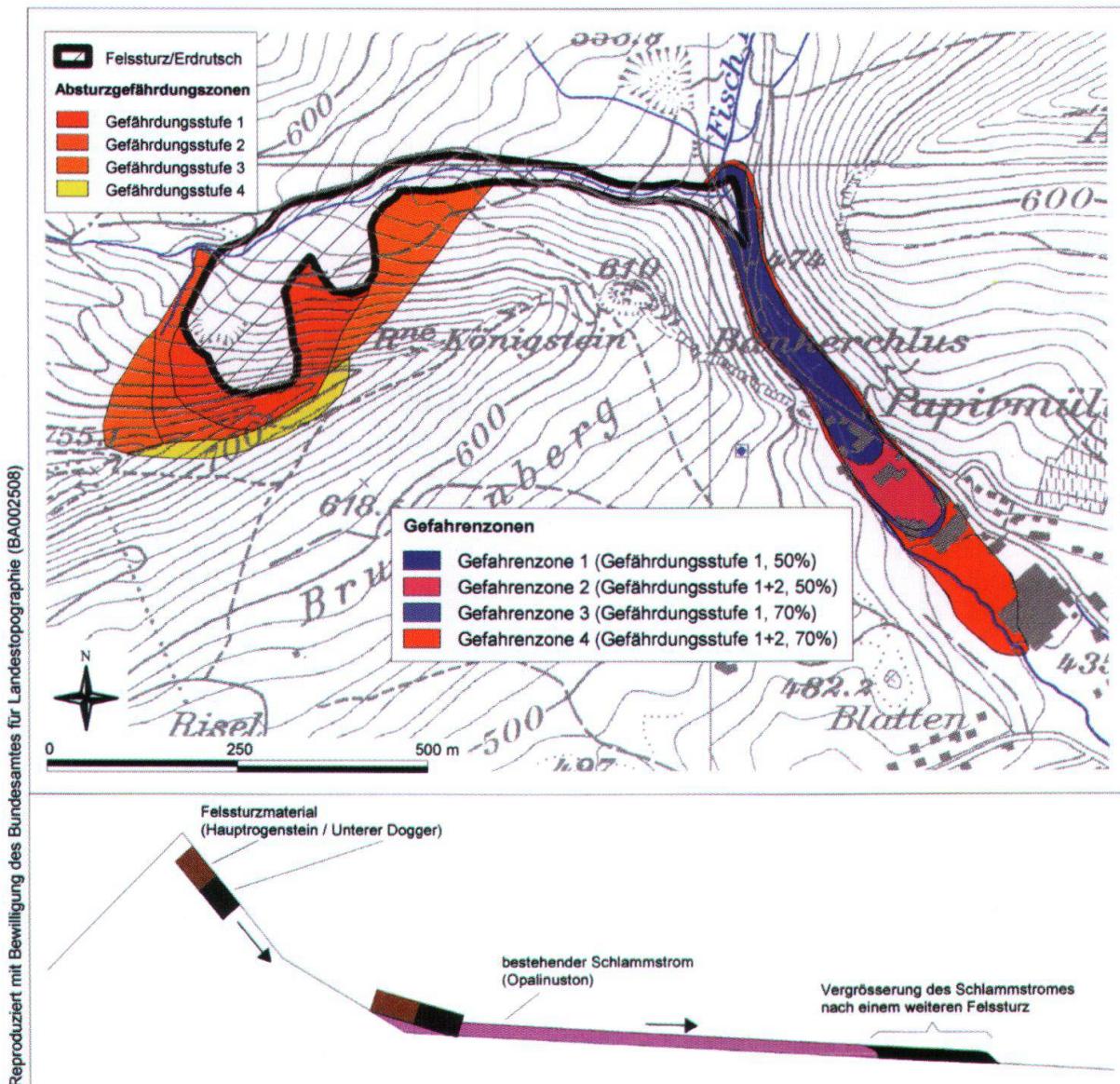


Fig. 6: Gefahrenkarte im Bereich des Brunnenberges.

gen lassen erkennen, dass vor allem das östliche Anrissgebiet sowie die Sackungsmasse innerhalb des Rutsches (Fig. 4) immer noch in Bewegung sind. Die neu eingerichteten Spaltenmessungen ergeben zur Zeit Bewegungen von maximal 0.3 mm pro Monat.

3.3 Gefährdung der Anwohner

Auf der Basis einer ersten geologischen Bestandesaufnahme wurde unmittelbar nach dem Naturereignis eine Beurteilung der Gefährdung der Bevölkerung in der Bänkerchlus durch weitere Felsstürze vorgenommen und in der Folge eine Gefahrenkarte erstellt (Fig. 6). In einer Erstbewertung wurde aufgrund des sehr nassen Schlammmaterials und der labilen Felspartien an der Abrissstelle ein potentielles Ausdehnungsszenario der Schlammmasse durch nachträglich in sie hineinstürzende Felspartien erstellt. Dies erlaubte es, eine Ersteinschätzung der Gefährdung der

Anwohner durch ein solches Ereignis vorzunehmen. Für die Ausscheidung der Gefahrenzonen wurde einerseits das Anrissgebiet in Gefährdungsstufen eingeteilt sowie andererseits der Wassergehalt der Schlammmasse, welcher mit bis 50 Volumenprozent (Labordaten) recht hoch lag, mitberücksichtigt. Die Gefährdungsstufen des Anrissgebietes geben Auskunft darüber, wie absturzgefährdet eine Felspartie ist. Dabei bedeutet Stufe 1 eine hohe und Stufe 4 eine niedrige Absturzgefährdung. Falls nun 50 % der Gefährdungsstufe 1 in die immer noch nasse Schlammmasse hineinstürzt, ergibt sich die Gefahrenzone 1, das heisst, dass dann die Bevölkerung in dieser Zone stark gefährdet ist. Im Laufe der Zeit trocknete infolge der Entwässerung des Systems die Schlammmasse langsam aus und im Anrissgebiet liess sich durch die regelmässig eingehenden Bewegungsmessungen eine Verlangsamung der Deformationen feststellen, so dass eine Gefährdung der Bevölkerung durch nachstürzende Felsmassen in den Sommermonaten praktisch ausgeschlossen werden konnte. In der Folge konnte nun eine den veränderten Verhältnissen angepasste Gefahrenkarte erarbeitet werden.

Wie aber verhält sich das System in Zukunft, speziell am Übergang vom Winter zum Frühling, also dann, wenn wiederum die gleichen Ausgangsbedingungen in Form von Frost-Tauphasen und hohen Niederschlägen wie zur Zeit des Felssturzereignisses herrschen?

Wenn wir den räumlichen Verlauf des Opalinustones bis zu seinem Übergang zum Gegenhang sowie die aufgelockerten Kalkschichten auf der Krete des Brunnenberges ansehen, so verbleiben im östlichen Teil noch einige Felspartien, welche potentiell stark rutschgefährdet sind (Fig. 4). Da diese noch näher beim Siedlungsraum liegen, ist bei einem entsprechend grossen Felssturz die Gefährdung der Bevölkerung noch grösser wie bis anhin. Die schon ausgeführten Überwachungs- und die im nächsten Kapitel erläuterten Sanierungsmassnahmen sind somit im Hinblick auf die kommenden Winter-Frühlingsperioden dringend notwendig.

3.4 Zukünftige Sicherungsmassnahmen

Die vordringlichsten Massnahmen gegen weitere Felsstürze respektive zur Verminderung der Gefährdung der Anwohner, wie die Entwässerung des Schlammstromes sowie die Umleitung des Wilebergbaches, wurden bereits durchgeführt. Des weiteren sind zusätzliche Hanganschnitte, z.B. in Form von Waldwegen, zu vermeiden sowie die Stabilisierung schon erfolgter Hangschwächungen vorzusehen. Zur Diskussion stehen auch Dammsperren im Bereich des Talbereiches mit der Absicht, einem zukünftigen Ereignis so viele Hindernisse wie möglich in den Weg zu stellen, dessen Energie zu brechen und die gesamte Schlammmasse soweit wie möglich von der Benkenstrasse und den besiedelten Gebieten fernzuhalten.

4. Folgerungen

Wie schon erwähnt ist die hier geschilderte Rutschung progressiv, d.h., dass sie in absehbarer Zeit wieder reaktiviert wird und sich weiter rückwärts bzw. seitwärts ausdehnt. Die Gefährdung der Anwohner ist somit ohne Sicherungsmassnahmen nach wie vor vorhanden und sogar noch grösser wie bis anhin. Bis diese Sicherungsmassnahmen errichtet sind, ist das automatische Überwachungssystem notwendig.

Rutschungen und Murgänge Laui (Sörenberg, LU)

mit 3 Figuren

MARKUS LINIGER *

Zusammenfassung

Am 14. Mai 1999 ereignete sich während heftigen Regenfällen bei gleichzeitiger Schneeschmelze am Nünalpstock, nordöstlich des Dorfes Sörenberg, eine Rutschung von ca. 200'000 m³ aus vorwiegend Block- und Verwitterungsschutt aus dem Schlieren-Flysch. Murgänge aus dieser Rutschmasse ergossen sich bis ins Siedlungsgebiet. Einige Häuser wurden beschädigt, Personen kamen glücklicherweise nicht zu Schaden. Weitere nachfolgende Murgangereignisse brachten wiederholt Schutt bis ins Siedlungsgebiet, insgesamt ca. 50'000 m³.

Es wurde sofort ein Krisenstab geschaffen, erste Massnahmen zur Gefahrenabwehr ausgeführt und ein Überwachungskonzept ausgearbeitet. Aufgrund der langanhaltenden Gefahrensituation wurde ein eigentliches Gefahrenmanagement mit gestaffelter Alarmauslösung eingerichtet. Der gebildete Führungsstab Laui, mit einem vollzeitlich angestellten Forstingenieur als Leiter, übernahm in der Folge alle notwendigen Arbeiten. Der Führungsstab ist immer noch im Einsatz.

1. Ereignisse 1999

Nach tagelangen intensiven Niederschlägen löste sich am 14. Mai 1999 an der Südwestflanke des Nünalpstocks (647'090/186'790) eine Rutschung von ca. 200'000 m³. Die Anrisskante der Rutschung liegt im sogenannten Gebiet "Laui", nordöstlich des Dorfes Sörenberg auf 1650 - 1700 m ü. M. (Fig. 1). Die stark durchnässten Rutschmassen glitten bis auf Kote 1380 m. Aus ihnen entwickelten sich Murgänge von mehreren 10'000 m³ und wälzten sich talwärts bis ins Dorf Sörenberg und bis in die Waldemme. Glücklicherweise folgten alle Murgänge von 1999 bisher dem eher untypischen Weg im bestehenden Gerinne entlang der höchsten Geländelinie des Kegels und trafen im einzigen noch kaum bebauten Bereich auf das Dorf. Mehrere Häuser wurden von den Schlammmassen getroffen, ein grösseres Gebiet musste vorübergehend evakuiert werden. Die Kantonsstrasse wurde überströmt und musste vorübergehend gesperrt werden. Personen kamen aber glücklicherweise nicht zu Schaden.

Die ersten Murgänge bewegten sich eher langsam, mit einigen Metern pro Minute talwärts, die Murgänge der nachfolgenden Wochen erreichten dagegen schon Geschwindigkeiten von einigen Metern pro Sekunde. Insgesamt sind seit Mai 1999 ca. 50'000 m³ Schlamm und Schutt in Form von ca. 20 mehr oder weniger grossen Murgängen bis in den Bereich des Dorfes gelangt, wo sie in einem bergseits der Kantonsstrasse provisorisch ausgehobenen Becken aufgefangen, ausgebaggert und anderweitig deponiert wurden.

* Geotest AG, Bahnhofstrasse 42, 6048 Horw

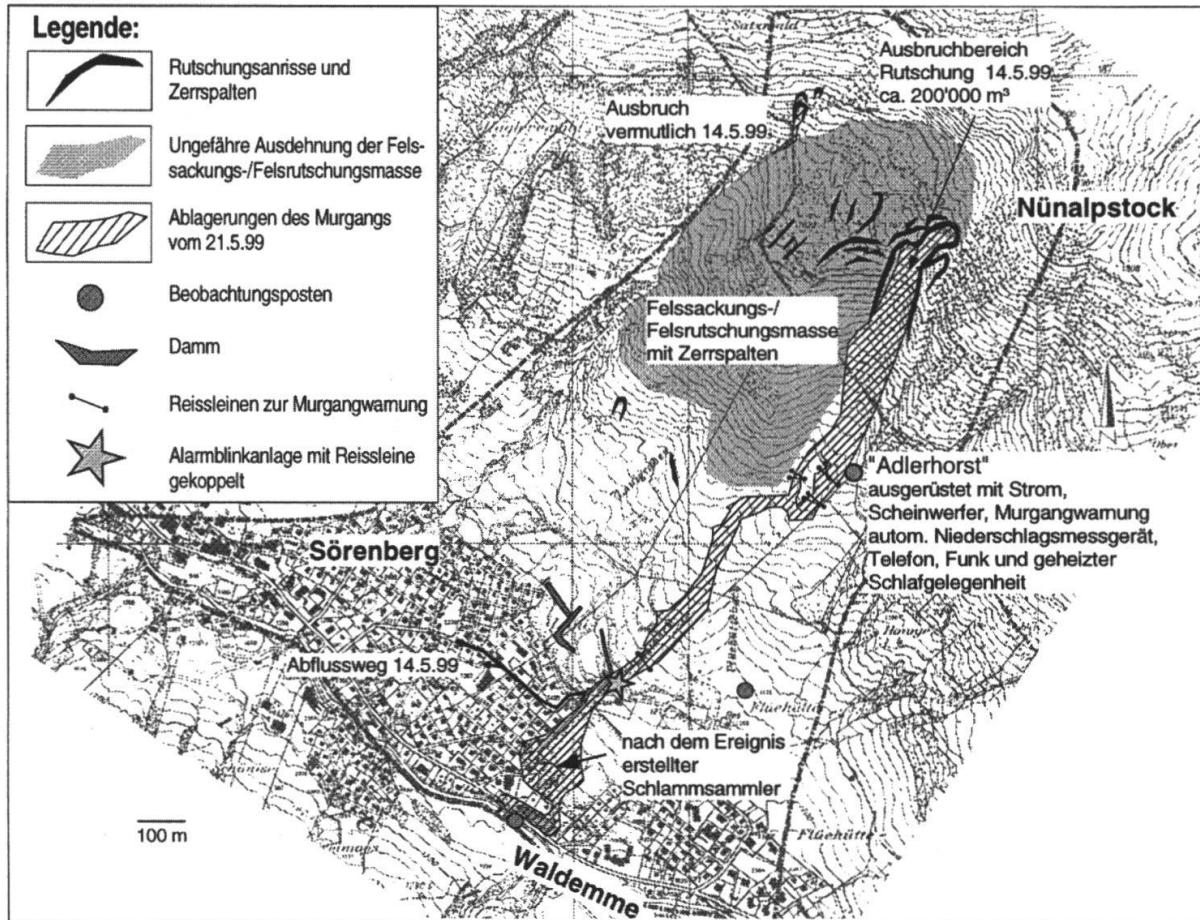


Fig. 1: Übersichtskarte mit Felsrutschung/Felssackung Laui Sörenberg und den Murgängen von 1999.

2. Frühere Ereignisse

Die "Laui" (Fig. 2) hat Ihren Namen aufgrund von Ereignissen in der Vergangenheit. Ende letzten und Anfang dieses Jahrhunderts wurden im Gebiet markante Absenkungen im Dekameterbereich festgestellt. Kleinere Rutschungen und Murgänge begleiteten diese. Anfang Mai 1910 erreichten die Bewegungen ihren Höhepunkt und es erfolgte eine grosse Felsrutschung (nach A. Heim ca. 1.5 Mio. m³). Im Frontbereich und seitlich der Rutschmasse bildeten sich langsame Schuttströme und wälzten sich auf einer Breite von ca. 600 – 700 m bis zur Waldemme und stauten den Fluss auf. Ende Mai und Anfang Juni folgten auch schnellere Murgänge. 1922 ereigneten sich vor allem aus dem südöstlichen Randbereich der Grossen Rutschungsmasse (gleiches Gebiet wie 1999) grosse Murgänge bis zur Waldemme, was zu einem erneuten Rückstau führte.

Das Dorf Sörenberg wurde ab den Siebzigerjahren zu einem grossen Teil auf den untersten Bereich der Ablagerungen dieser beiden Grossereignisse gebaut. Die jüngsten dokumentierten Ereignisse sind Rutschungen von 1986 aus dem frontalen Bereich der Felsrutschungsmasse, welche ebenfalls Murgänge zur Folge hatten. Diese erreichten das Siedlungsgebiet aber nicht.

3. Auslösende klimatische Verhältnisse

Die klimatischen Verhältnisse vor und während den Ereignissen von 1910 und 1999 gleichen sich sehr stark. In beiden Fällen war ein schneereicher Winter vorausgegangen. Die Schneeschmelze wurde im Mai von heftigen Niederschlägen begleitet, welche zu sehr hohen Seepegeln und vielen Überschwemmungen im Unterland führten. Die Niederschläge lösten in beiden Fällen am Nünalpstock grosse Rutschungen aus, aus welchen sich Murgänge bis zur Waldemme hinunter ergossen. Die Ereignisse von 1910 waren weit grösser, weil die vorausgegangenen Rutschungs- und Sackungsbewegungen sehr stark waren (mehrere Dekameter, siehe oben). Dagegen waren die Bewegungen vor dem Ereignis von 1999 eher gering mit einigen Zentimetern pro Jahr (siehe Fig. 3). Die Ereignisse von 1922 und 1986 begannen ebenfalls im Frühjahr während Tauphasen.



Fig. 2:
Blick Richtung Nünalpstock (rechter Bildrand oben) und die "Lau" mit den Spuren der Murgänge vom Mai 1999.

4. Geologische Verhältnisse

Das Rutschungs- und Murgangmaterial stammt aus dem Schlieren-Flysch (vorw. Obere Tonstein-Schichten und Schoni-Sandstein). Durch die Verwitterungsprozesse entstehen Schuttmassen, welche geprägt sind von grossen, harten Sandsteinblöcken (dm bis mehrere Meter Kantenlänge) und feinkörnigem, tonreichen Material als Zwickelfüllung. Letzteres nimmt anteilmässig gegen das Tal hin zu, so dass die Blöcke zunehmend im feinkörnigen Material eingebettet sind.

Motor der ständig wiederkehrenden Ereignisse sind die anhaltenden Bewegungen der grossen Felssackungs-/Felsrutschungsmasse südwestlich des Nünaplstocks. Sie ist bis heute nur an der Oberfläche erforscht. Aufgrund der Geländemorphologie und der vorhandenen Quellaustritte lässt sich der Ausbiss ihrer Gleitfläche auf ca. 1350 – 1450 m ü. M. vermuten. Die bewegte Kubatur beträgt ca. 15 – 20 Mio. Kubikmeter. Die versackte Felssmasse ist stark zerrüttet und gut wasserdurchlässig. Sie wirkt als Wasserspeicher und gibt das infiltrierte dosiert und stark verzögert wieder ab. Es gibt im Gebiet, ausser an den Seitenrändern, praktisch keinen Oberflächenabfluss. Bei extremen Witterungsverhältnissen scheint die Speicherkapazität im Untergrund erschöpft zu sein. Dies ist vor allem nach einem niederschlagsreichen Herbst und Winterhalbjahr der Fall, wenn im Frühling eine sehr rasche Schneeschmelze wie 1999 eintritt. Alle bisher bekannten Ereignisse begannen im Frühjahr mit grösseren Rutschungsbewegungen im Bereich der versackten Felssmasse.

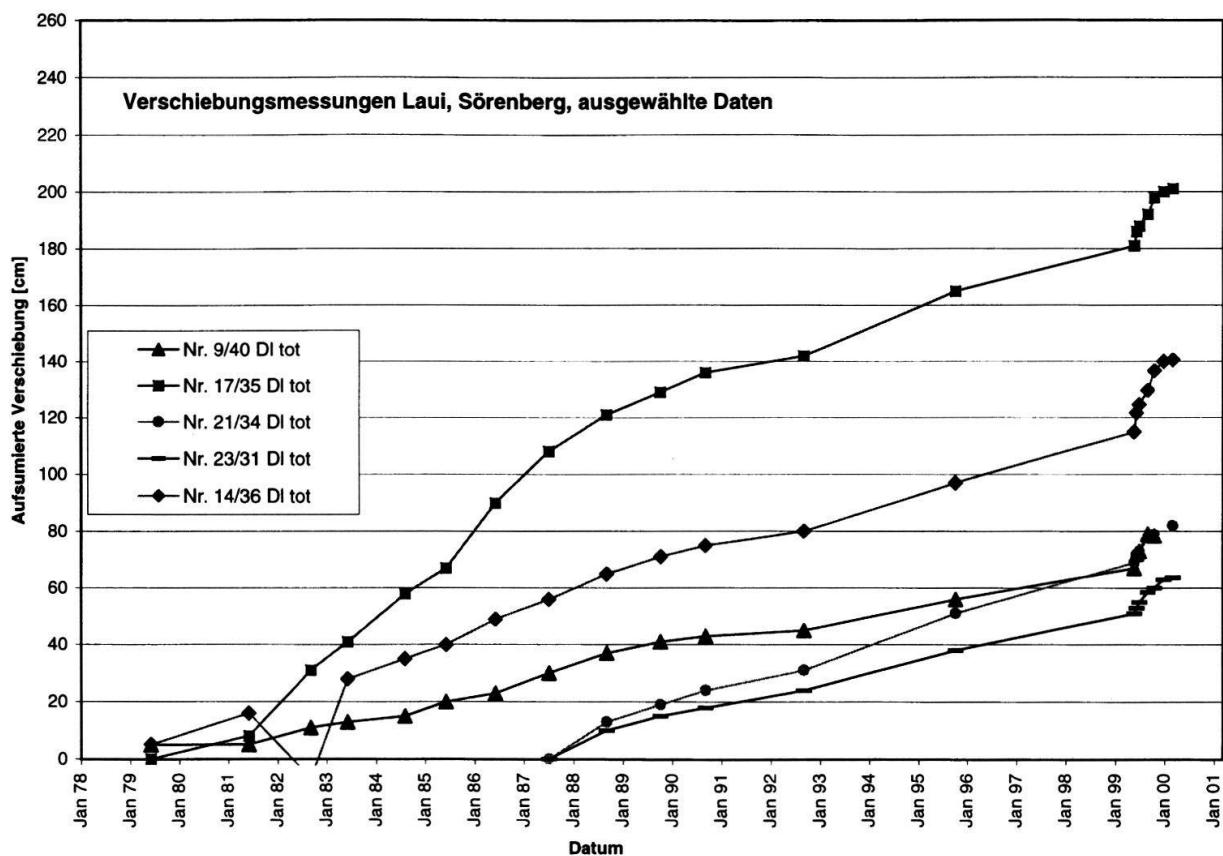


Fig. 3: Verschiebungsgeschwindigkeiten ausgewählter Punkte in der Felsrutschungsmasse Laui Sörenberg.

5. Gefahrenabwehr und Gefahrenmanagement

5.1 Gefahrenabwehr

Die Feuerwehr war beim Ereignis im Mai 1999 als erste auf Platz. Sie sorgte für die Absperrung der Gefahrenräume. Mit Objektschutzmassnahmen (Absperrungen mit Sandsäcken, Abdecken von Lichtschächten etc.) konnten die Schäden an Gebäuden durch Schlammwasser weitgehend vermieden werden. Mit Maschinen lokaler Bauunternehmer wurden durch das Ausbaggern von Verklausungen grössere Ausbrüche aus dem Gerinne verhindert.

Kantonale Vertreter (Kantonsforstamt, Wasserbauamt), Gemeindevertreter (Gemeinderat, Feuerwehrkommandant), Bauunternehmer, Polizei und der Schreibende bildeten den ersten Krisenstab. Es wurde eine erste Gefahrenbeurteilung durchgeführt, die ersten Massnahmen organisiert (Absperrungen, Evakuierungen, Überwachung, Alarmierung,...) und die weiteren Schritte festgelegt. Die Gemeinde orientierte kurz nach den ersten Murgängen die Öffentlichkeit und die Hausbesitzer über die herrschende Gefahrensituation und die angeordneten Massnahmen. Dies hat mitgeholfen, Unsicherheiten in der Bevölkerung grösstenteils zu verhindern oder zumindest abzubauen.

5.2 Gefahrenmanagement

Aufgrund der Erkenntnis einer lang anhaltenden Gefahrensituation wurde der Führungsstab Laui geschaffen mit einem eigenen Büro und mit einem fest angestellten, verantwortlichen Forstingenieur zur Koordination aller Arbeiten. Drei Personen mit der Kompetenz zur Alarmauslösung wechselten sich ab in der permanenten Überwachung des Gebietes.

Das aufgrund eines laufenden Auftrags zur Planung von Schutzmassnahmen (Vorprojektphase) bestehende Expertenteam aus Forstingenieur, Bauingenieur (Wasserbau) und Geologe wurde aufgrund der Gefahrensituation mit einem Murgangspezialisten verstärkt (ARGE Oeko-B, GEOTEST, J. Auchli, GEO 7). Überwachungsinstrumente zur Frühwarnung wurden unter Anleitung des Expertenteams installiert und die Kriterien zur Alarmauslösung festgelegt.

Ein Überwachungssitz (Adlerhorst, Fig. 1) mit fix installiertem Scheinwerfer, Telefonverbindung, Heizung und Schlafgelegenheit wurde auf einer stabilen Felsrippe randlich des Murganggerinnes erstellt. Ortsansässige übernehmen bei Bedarf die Überwachungsaufgaben. Reissleinen zur Murgangwarnung wurden installiert. Aufgrund der berechneten kurzen Zeitspanne zwischen Alarmierung und Eintreffen der Murgänge im Dorf wurden zusätzliche Verzögerungsdämme oberhalb des Siedlungsgebietes geschüttet, um bei grösseren Murgängen mehr Zeit zur Evakuierung zu erhalten. Ein automatisches Niederschlagsmessgerät wurde im Anrissgebiet installiert. Die geodätische Überwachung der Bewegungen der grossen Felsackung/Felsrutschung wurde technisch vereinfacht und ausgebaut, die Messintervalle verkürzt.

5.3 Alarmauslösung

Ab einer gewissen Niederschlagsintensität wird der diensthabende der drei Verantwortlichen im Führungsstab automatisch mittels Pager alarmiert, wonach er sich ins Büro des Führungsstabes begibt. Er entscheidet dort nach vorgegebenen

Stufen unter Berücksichtigung aller zur Verfügung stehenden Hilfsmittel, ob eine weitergehende Alarmierung notwendig ist. Zuerst werden die Führungskräfte (Feuerwehrkommandant, Gemeindevorstand) und die Beobachtungsposten aktiviert. Bei Bedarf wird durch den Feuerwehrkommandanten in Absprache mit dem Verantwortlichen im Führungsstab die Feuerwehr aufgeboten, welche ihrerseits eine allfällige Evakuierung oder anderweitige Massnahmen veranlasst. 1999 wurden 5 vorsorgliche Evakuierungen ausgelöst.

6. Ausblick

Seit Mai 1999 hat sich die alte Felssackungs-/Felsrutschungsmasse am Nünalpstock (mehrere Millionen m³) erneut signifikant beschleunigt (Fig. 3). Die Murganggefahr besteht somit unvermindert und soll mittels Dämmen und Rückhaltebauwerken in Zukunft beherrscht werden. Bis es soweit ist, wird die Gemeinde Sörenberg den Führungsstab wie bisher weiterbetreiben.

Ein Projekt zur besseren Erforschung der Felssackungs-/Felsrutschungsmasse ist gestartet worden. Die geologischen Untersuchungen laufen parallel und koordiniert mit den Massnahmen zur Murgangabwehr.

Dank

Wir möchten den kantonalen und kommunalen Behörden für die gute und konstruktive Zusammenarbeit danken. Erst dadurch konnte ein effizientes Gefahrenmanagement aufgebaut werden. Ebenfalls gedankt sei den Mitgliedern der Ingenieurgemeinschaft, Forstingenieur Karl Grunder (Oeko-B, Stans) Bauingenieur Sepp Auchli (J. Auchli, Wolhusen) und Murgangspezialist Markus Zimmermann (GEO 7, Bern), welche wesentlich bei der Bewältigung der verantwortungsvollen Aufgabe mitgeholfen haben.

Wichtigste Literatur

- HEIM, A. 1932: Bergsturz und Menschenleben. – Vierteljahresschrift d. natf. Gesellschaft Zürich, Jg. 1977.
- MANSER, M. 1991: Analyse der Rutschung von Sörenberg (LU/OW) und ihrer Umgebung unter besonderer Berücksichtigung der Grundwasserverhältnisse. Frage einer akuten Gefahr von Naturkatastrophen. Unpubl. Diplomarbeit ETH Zürich.

Felssturzgefahr Chapf - Blattenalp (Innertkirchen, BE)

mit 2 Figuren

ROBERT OTTIGER *, UELI GRUNER *, DANIEL BOLLINGER *

Zusammenfassung

Zwei instabile Felspartien von total rund 275'000 m³ Volumen werden seit 1951 periodisch überwacht. Sie gefährden die Grimselstrasse sowie Installationen der Kraftwerke Oberhasli. Nebst der Sturzgefahr besteht auch die Gefahr eines Rückstaus der Aare südlich von Innertkirchen (Berner Oberland). In den letzten 10 Jahren haben die Öffnungsgeschwindigkeiten längs der Hauptspalten erheblich (im Durchschnitt um 4 – 5 cm/Jahr), im Frühjahr 1999 markant (ca. 15 mm/Monat) zugenommen. Die Beschleunigung der Bewegungen im letzten Frühjahr korreliert deutlich mit dem ausserordentlichen, witterungsbedingten Wassereintrag in den Untergrund (niederschlagsreiches Winterhalbjahr 1998/99).

1. Ereignis

1.1 Ausgangssituation

Periodische Abbrüche (Stein- und Blockschlag) sowie eine erhebliche Felssturzgefahr führten dazu, dass zwei instabile Felspakete oberhalb der Grimselstrasse seit 1951 (dem ausserordentlich schneereichen Winterhalbjahr 1950/51 folgend) periodisch überwacht werden. Die beiden unmittelbar aneinander grenzenden Felsmassen befinden sich rund zwei Kilometer südlich von Innertkirchen auf der orographisch rechten Talseite des Haslitales zwischen 1'400 und 1'600 m ü. M. (Koord. ca.: 662'500/171'550). Anhand von Spalten lassen sich die beiden absturzgefährdeten Felspartien räumlich sehr gut definieren: Es handelt sich dabei um ein kleineres, südlicheres von rund 25'000 m³ sowie ein nördliches Felspaket von rund 250'000 m³. Die Begrenzung des nördlicheren der beiden instabilen Felspakete lässt sich der Figur 1 entnehmen. Dass sich die Bewegungen nicht nur auf die Hauptspalten bzw. die obgenannten zwei Felspakete beschränken, daraufhin weisen die Geländeformen (Nackentälchen) auf der oberhalb der instabilen Felsmassen liegenden Blattenalp, wo in jüngster Zeit zudem neu entstandene Sekundärspalten beobachtet werden können.

Die Überwachung der instabilen Felsmassen bestand und besteht zum Teil auch heute noch darin, in regelmässigen Abständen manuell Verschiebungsmessungen

* Kellerhals + Haefeli AG, Kapellenstrasse 22, 3011 Bern

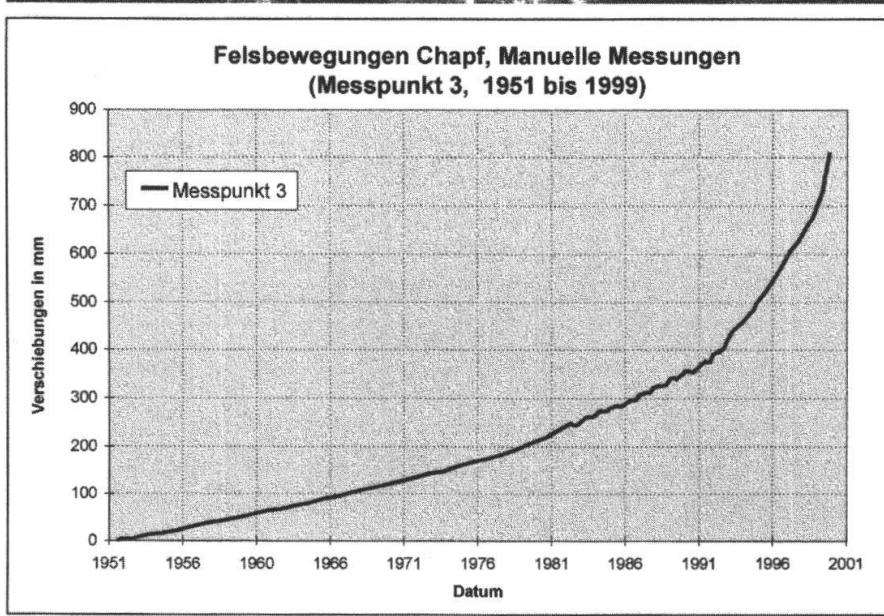
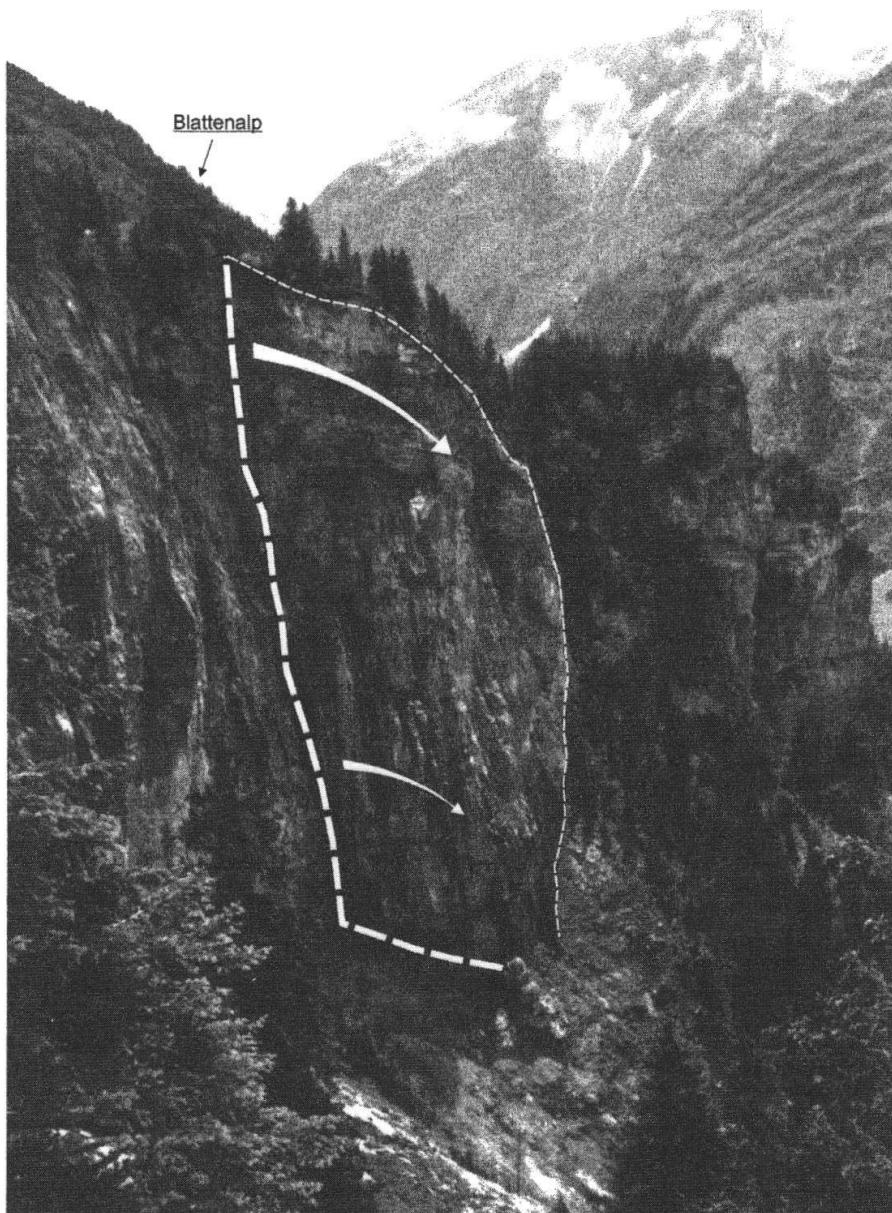


Fig. 1:
Absturzgefährdete
Felsspartie (Blick in
Richtung S). Das
Zeit-Deformation-
sdiagramm zeigt die
Entwicklung der
Spaltenöffnung längs
des Hauptabrißran-
des zwischen 1951
(Beginn der Messun-
gen) und 1999.

an den wichtigsten Spalten vorzunehmen. Nachdem sich zu Beginn der 90er Jahre die Bewegungen merklich beschleunigt haben, wurden die Messintervalle verkürzt und die Felspakete an zusätzlichen Messpunkten überwacht (u.a. auch mit geodätischen Präzisionsmessungen von der gegenüberliegenden Talseite aus). Anlässlich einer routinemässigen Kontrolle wurde im Frühjahr 1999 wiederum eine markante Zunahme der Spaltenöffnungsgeschwindigkeiten von bis zu 3 cm pro Monat festgestellt. Seit Beginn der Messungen hatte sich eine der Spalten um rund 80 cm geöffnet, wovon 45 cm alleine in den letzten 10 Jahren und rund 14 cm im Jahre 1999. Aufgrund dieser Entwicklung muss - zumindest beim kleineren Felspaket - in näherer Zukunft, d.h. in den nächsten Jahren, mit einem Felsturz gerechnet werden.

2. Disposition

2.1 Grunddisposition: Geologischer Kontext

Bei den instabilen Felspaketen handelt es sich um Teile des sogenannten Pfaffenkopf-Keils, einer ins kristalline Aarmassiv eingefalteten Abfolge von parautochthonen Sedimenten, die u.a. den markanten Eckpfeiler des Pfaffenkopfs südöstlich von Innertkirchen sowie die steilen Felswände im Bereich Blattenalp-Chapf bilden. Die am Chapf bis zu 140 m hohe, subvertikale (lokal überhängende) Felswand besteht im bis zu 100 m mächtigen, zentralen Teil, vorwiegend aus massigem Quintner Kalk (Malm). Im Grenzbereich zum Kristallin sind geringmächtige Dogger- und Triasgesteine aufgeschlossen. Es handelt sich dabei um Mergelschiefer (Aalénien) sowie Dolomit (Rötidolomit). Allgemein sind die Gesteine intensiv verfaltet. Die Schichtung ist relativ ausgeprägt und fällt sehr flach mit 5 – 15 Grad gegen ESE zu ein. Das Gestein ist stark zerklüftet, wobei zwei Hauptkluftsysteme unterschieden werden können: Ein subvertikales Kluftsystem verläuft annähernd parallel zur Talflanke. Es handelt sich um die durch Gebirgsentlastung entstandene, das Gebirge tief durchtrennende Talklüftung. Ein zweites Kluftsystem fällt subvertikal gegen SE, also ± quer zur Achse des Haslitals ein.

Vor allem die Talklüfte sind im oberen Teil der Felswand, d.h. im Bereich der Blattenalp, zum Teil als eindrückliche Spalten ausgebildet. Die Hauptspalten klaffen in diesem Bereich momentan bis zu 3 m auseinander. Die bedeutendsten Klüfte ziehen bis an den Fuss der Felswand, um sich in den darunterliegenden, weniger kompetenten Mergelschiefern in Form eines verästelten Netzes feiner Trennflächen zu verlieren. Die zunehmende Entfestigung des Fusses der Felswand ist an Rissen ersichtlich, die vor wenigen Jahren nur als Haarrisse sichtbar waren und jetzt zu Rissen und Spalten ausgeweitet sind.

2.2 Variable Disposition und auslösende Ereignisse

Schon zu Beginn der 90er Jahre konnten aufgrund der Intensivierung der Messtätigkeit saisonale Schwankungen der Spaltenöffnungsgeschwindigkeiten festgestellt werden. Die grössten Bewegungen wurden dabei generell im Frühjahr gemessen. Die Vermutung, dass es sich dabei um eine witterungsbedingte (Niederschläge, Schneeschmelze) Beschleunigung der Spaltenöffnungen handelt, wurde im Frühjahr 1999 eindrücklich erhärtet. In Figur 2 sind die Bewegungen der Messpunkte 3 (kleines Felspaket) und 4 (grosses Felspaket) sowie die Niederschlagsdaten der SMA-Station Meiringen vom März 1998 bis Februar 2000 aufgetragen. Da-

raus lässt sich eine gute Übereinstimmung zwischen den ausserordentlichen Niederschlägen in der ersten Jahreshälfte 1999 sowie der Zunahme der Spaltenöffnungsgeschwindigkeiten herleiten. Vor allem die Bewegungen des kleinen Felspakets zeigen eine ausgeprägte Korrelation. Eine deutliche Zunahme der Deformationen setzte im Mai 1999 ein.

Anfangs Mai erreichte die Schneeschmelze den bisherigen Höhepunkt des Jahres 1999, was sich auch in etwa einer Verdoppelung der Zuflüsse in den Brienzersee manifestierte. Das Hauptgewicht der Schneeschmelze lag zwischen ca. 1400 – 2000 m ü.M., also im Bereich der instabilen Felspartien. Im darüber liegenden hydrologischen Einzugsgebiet in der Westflanke des Bänzlaustocks (2530 m ü.M.) dürfte die Schneedecke weitgehend durchnässt gewesen sein. Zusätzlich zur schneeschmelzebedingten Wassersättigung brachten ergiebige Niederschläge eine fortschreitende Destabilisierung des Untergrundes mit sich. So führten die äusserst ergiebigen Niederschläge vom 21. Mai 1999 (von Ortsansässigen wurden innert 24 h gegen 100 mm registriert) im ca. 4 km SE der Blattenalp auf derselben Talseite gelegenen Hostetbach (Gemeinde Guttannen) zu mehreren Murgängen.

Vermutlich führten die ebenfalls sehr ergiebigen, mit Tauwetter bis in höhere Lagen verbundenen Niederschläge Ende Februar 1999 bereits zu einer beginnenden Beschleunigung der Spaltenöffnungsgeschwindigkeiten. Deren genaue Zeitpunkt kann wegen fehlender Messungen im Winterhalbjahr 1998/99 jedoch nicht exakt festgelegt werden.

Die Rolle des Wassers als treibende Kraft der zunehmenden Bewegungen zeigte sich auch anhand von Feldbeobachtungen. Anlässlich einer Feldbegehung im Mai 1999 wurden an der Basis der instabilen Felspakete mehrere, bislang nie beobachtete Quellaustritte festgestellt, welche im Verlauf des Sommers wieder versiegten. Die Spaltenöffnungsgeschwindigkeiten waren zu diesem Zeitpunkt bis zu fünfmal grösser als in der gleichen Zeitspanne des Vorjahres.

Ein Abflachen der Zeit-Deformationskurve ist beim kleinen Felspaket Ende Juni 1999, beim grossen bereits Mitte Juni feststellbar.

3. Gefahrenmanagement

3.1 Gefahrenanalyse

Aufgrund der bedrohlichen Zunahme der Bewegungen wurde 1999 eine umfassende Gefahrenanalyse durchgeführt. Es bestehen folgende Gefahrenpotenziale:

- **Felssturz:** Durch Kippen und - in geringerem Masse - Gleiten können maximal 275'000 m³ Felsmaterial in das Gebiet Üssri Urweid abstürzen. Anhand einer Prognosekarte für den Felssturz-Prozessraum konnten die betroffenen Schadenspotenziale bestimmt werden. Bei einem Felssturz dieses Ausmasses sind nebst der Grimselstrasse, die im Extremfall mehrere Meter hoch mit Gesteinsmaterial eingedeckt würde, Installationen der Kraftwerke Oberhasli (Hochspannungsleitungen, Leitungsmasten), eine Standseilbahn, verschiedene Ställe und diverse Wege gefährdet.
- **Aarestau:** Bei einem Felssturz muss mit einem Aarestau im Gebiet Üssri Urweid gerechnet werden. Je nach Konfiguration des Dammes ist ein Dammbruch nicht auszuschliessen. Die Gefährdung der unterliegenden Gebiete in Innertkirchen ist jedoch gering, wie Flutwellenmodellierungen der VAW-ETHZ zeigten.

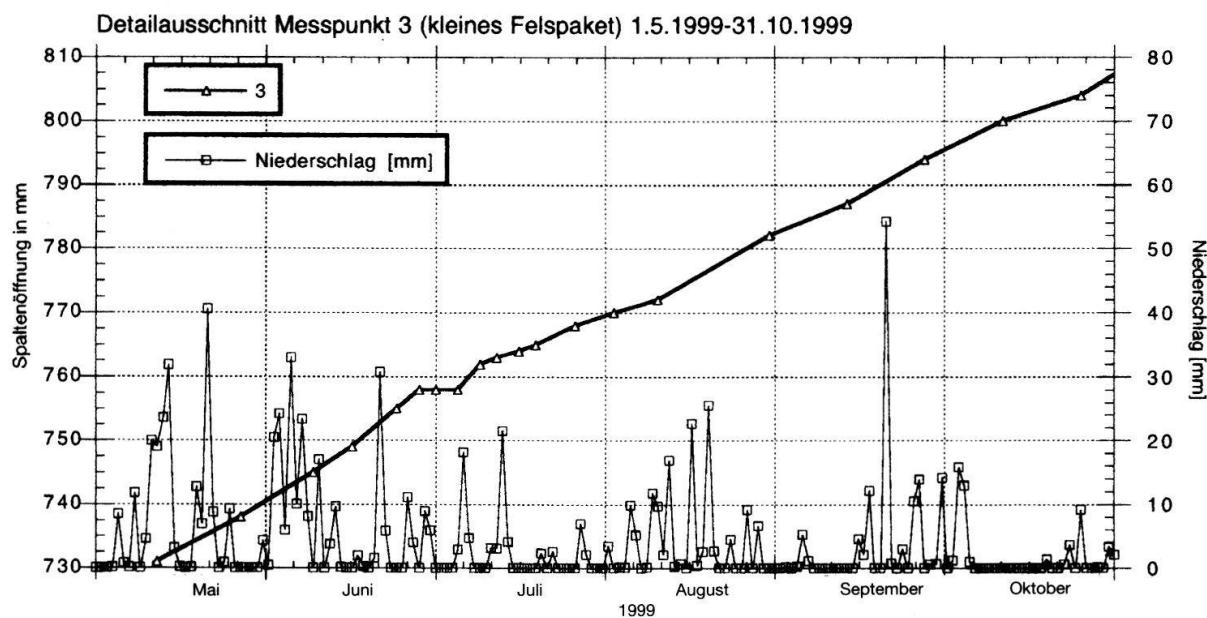
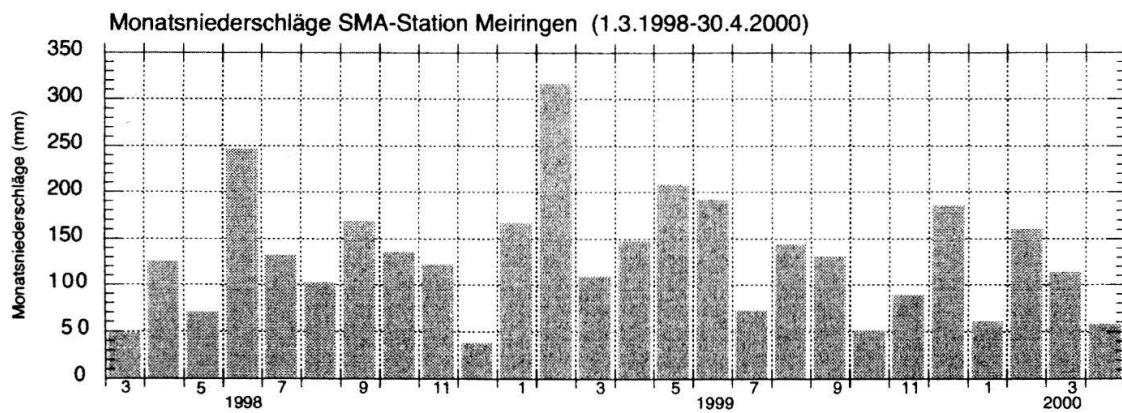
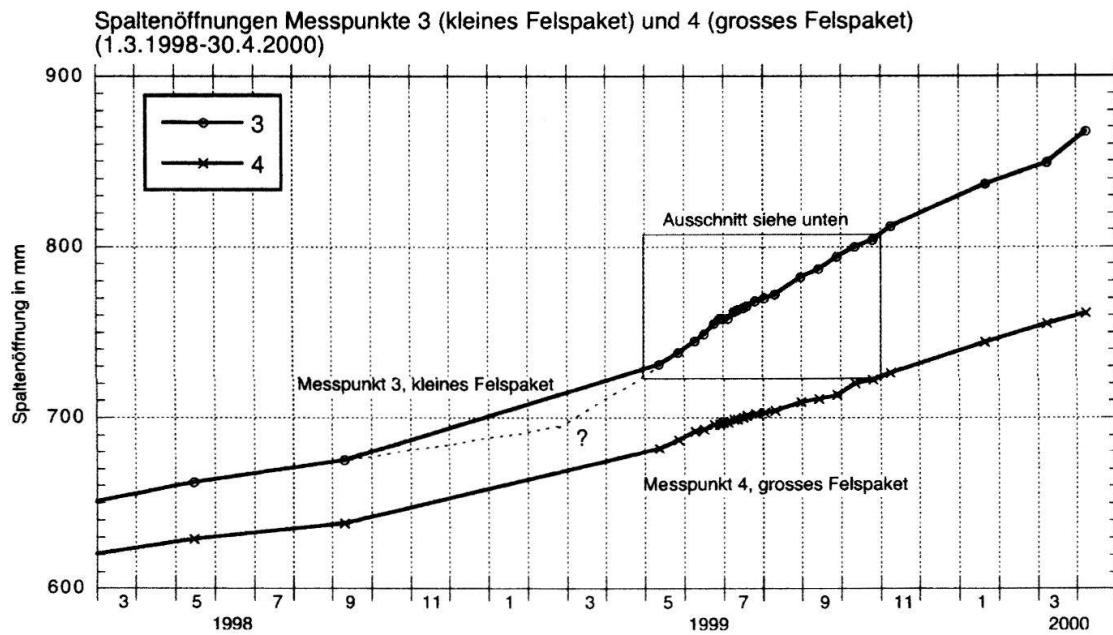


Fig. 2: Zeit-Deformationsdiagramme und Niederschläge der SMA-Station Meiringen (Frühling 1998 – Frühling 2000).

3.2 Sofortmassnahmen

Als wichtigste Sofortmassnahme wurde im Sommer 1999 auf den beiden absturzgefährdeten Felspaketen je eine Felssturzwarnanlage installiert. Mittels eines automatischen Messsystems mit Reissdrähten und Distanzmessern werden seither sowohl das kleine als auch das grosse Felspaket dauernd überwacht. Die Messungen werden direkt auf eine Signalsteuerung an der Grimselstrasse und von dort in die Zentrale der Kraftwerke Oberhasli (KWO) in Innertkirchen übertragen. Beim Überschreiten einer bestimmten Spaltenöffnungsgeschwindigkeit oder beim Reissen der Drähte wird die Grimselstrasse automatisch gesperrt und ein Alarm ausgelöst. Eine On-line-Überwachung garantiert, dass die Verantwortlichen jederzeit über die Entwicklung der Bewegungen orientiert sind.

Gleichzeitig wurde unter der Federführung des kantonalen Tiefbauamts (Oberingenieurkreis I) zusammen mit den zuständigen Gemeindebehörden (Gemeindeführungsorgane und Wehrdienste der Gemeinden Innertkirchen und Guttannen) sowie den kantonalen Instanzen und der KWO ein Einsatzplan für den Fall eines Felssturzes ausgearbeitet. Darin werden die im Alarmfall zu ergreifenden Massnahmen geregelt und den verschiedenen Instanzen klar definierte Zuständigkeitsbereiche zugewiesen. Diese reichen von der Absperrung der Gefahrenzone, Terrainbesichtigungen durch den Geologen, Auslösung allfälliger Rettungseinsätze, Organisation einer weiträumigen Umfahrung des Ablagerungsgebietes bis hin zu logistischen Einsätzen zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit von Guttannen (im Winter, wenn die Zufahrt vom Wallis nicht möglich ist). Zur Verfeinerung der komplexen Abläufe wurden zusätzlich mehrere Arbeitsgruppen eingesetzt.

Im Verlaufe des Winters 1999/2000 wurde das potenzielle Ablagerungsgebiet und die möglichen Ablagerungsmächtigkeiten mittels Sturzbahnberechnungen auf einem GIS-basierten, digitalen Geländefeld detailliert erfasst. Dabei wurden auch genauere Angaben über Sprunghöhen, die kinetische Energie und Trefferwahrscheinlichkeiten ermittelt.

Damit kann eine differenzierte Beurteilung der Gefährdung der vorhandenen Schadenpotenziale erfolgen und im Talboden eine bessere Abschätzung der Ablagerungsverhältnisse nach einem Felssturz vorgenommen werden.

Die seit dem Sommer 1999 installierten, automatisierten Messeinrichtungen zeigen zudem folgende Witterungsabhängigkeiten:

- Einzelne Warmwetterphasen (Tauwetter) im Winter 1999/2000 hatten nur eine sehr geringe Auswirkung auf die Bewegungen der beiden Felspakete;
- Im Frühjahr 2000, als die Felswand wieder von der Sonne beschienen wurde, nahmen die Bewegungsraten am kleinen Felspaket zu. Nach erfolgter Schneeschmelze gingen sie trotz einer niederschlagsarmen Periode nicht wieder zurück.
- Aufgrund der Westexposition der Felswand sind bei stärkerer Sonneneinstrahlung insbesondere beim kleinen Felspaket Schwankungen der täglichen Bewegungen von bis zu 1 mm festzustellen.

4. Folgerungen

Die Felssturzgefahr Chapf-Blattenalp ist ein Beispiel für eine instabile, akut absturzgefährdete Felmasse. Im fortgeschrittenen Zustand der Destabilisierung manifestieren sich relativ kurzfristige Systemänderungen (Witterungsverlauf 1. Halbjahr 1999) in deutlichen Änderungen des Bewegungsverhaltens.

Rutschungen am Uetliberg (Stallikon, ZH)

mit 3 Figuren

NIK SIEBER *

Zusammenfassung

Dem regnerischen und schneereichen Winter 98/99 folgten im Monat April 1999 anhaltende Niederschläge. Die dadurch bereits übersättigten Böden waren nicht mehr in der Lage die Extremniederschläge zwischen dem 11. und 13. Mai aufzunehmen. In der Folge dieses Extremregens ist es schliesslich zu zahlreichen, teilweise grösseren Rutschereignissen im Gebiet Uetliberg-Albiskamm gekommen, welche Strassen teilweise unpassierbar machten und Gebäude in Mitleidenschaft gezogen haben.

1. Ereignisse

Nach intensiven Regenfällen zwischen dem 11. und 13. Mai 1999 sind am Uetliberg und Albiskamm zwischen dem 12. und 14. Mai mehr als 50 grössere und kleinere Rutschereignissen eingetreten. Ein Grossteil davon hat in den steilen bewaldeten Abhängen beidseitig des Grates stattgefunden. Rutschkörper von einigen hundert bis einigen tausend Kubikmeter Material lösten sich vor allem im Gratbereich westlich (679°440/244°960) und östlich von Uto Kulm (679°980/244°430), aber auch im Bereich der akkumulierten Gehängelehme am Hangfuss (679°430/243°420). Allein im Gemeindegebiet Stallikon (südwestlicher Abhang) wurden über 20 Rutschereignisse registriert. 6 davon haben Strassen unterbrochen (z.B. 679°460/244°880), 2 beschädigten Fundamente von Wohnhäusern (z.B. 679°440/245°340) und eines bedrohte eine Siedlung (679°380/243°770), die schliesslich nur dank der stabilisierenden Wirkung eines Waldes vor Schäden bewahrt blieb. Materialumlagerungen von einigen tausend Kubikmeter beeinträchtigten zwei Weiden auf einer Breite von 30 – 60 m und einer Länge von ca. 30 – 50 m. Oberhalb einer verankerten Pfahlwand (679°430/243°420), welche vor 10 Jahren zur Hangstabilisierung über einer Siedlung erstellt wurde, hat sich am 12. Mai ein ca. 20 m langer Anriss in einem Flurweg mit einem vertikalen Versatz von ca. 0.5 m gebildet. Die Pfahlwand konnte verhindern, dass es zu einem eigentlichen Abgleiten des bereits abgelösten Rutschkörpers gekommen ist.

Der grösste Rutsch ca. 150 m westlich der Kirche Stallikon wies im Anrissbereich eine Breite von 100 m auf, bei einer Tiefe von schätzungsweise 5 m. Schon nach wenigen Metern blieb die Rutschmasse in labilem Gleichgewicht stehen. Dieses Phä-

* Sieber, Cassina + Partner AG, Langstrasse 149, 8004 Zürich

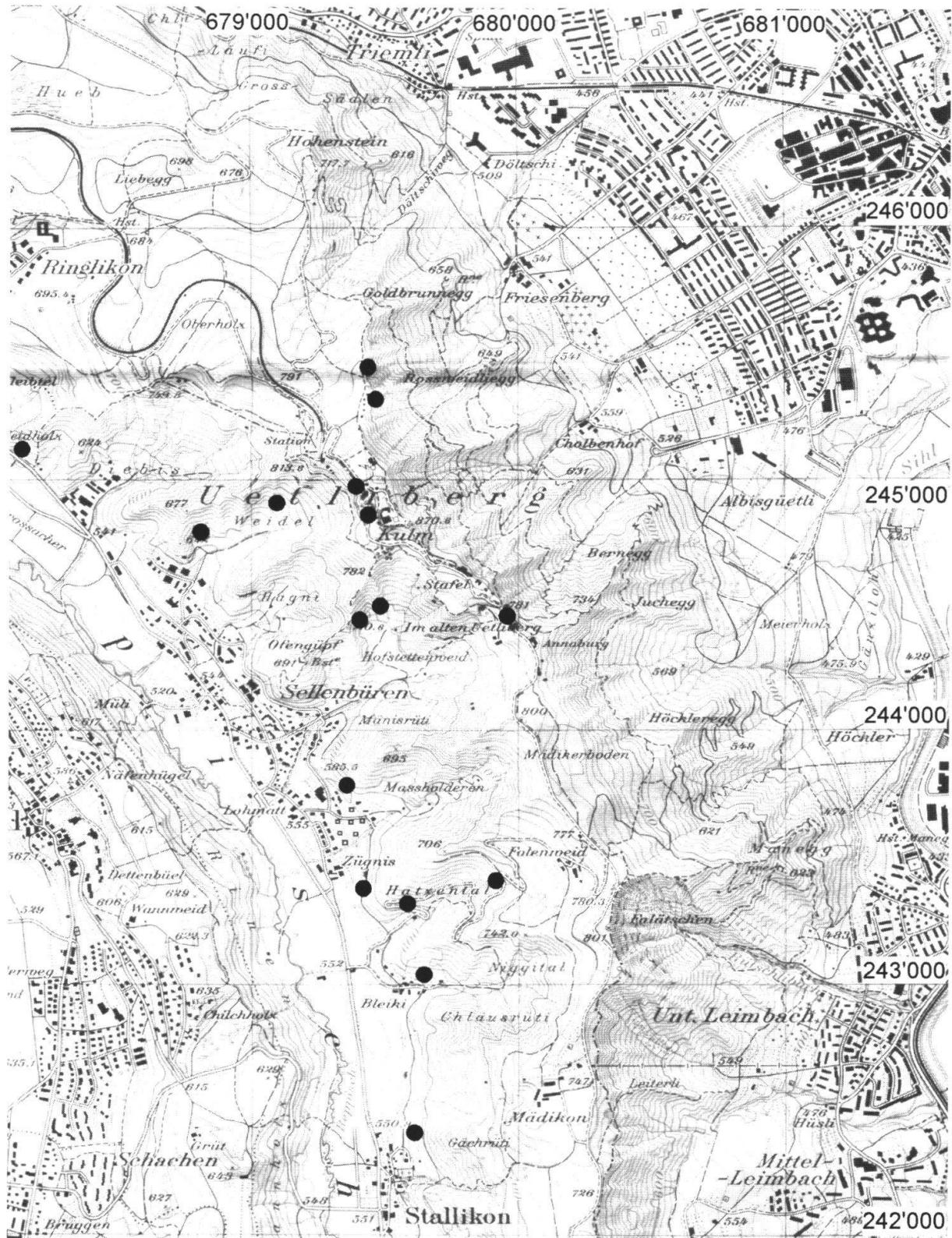


Fig. 1: Lage der wichtigsten Rutschereignisse im Bereich Uetliberg, Mai 1999. Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie (BA002468).

nomen konnte bei verschiedenen Rutschen vor allem im Hangfußbereich festgestellt werden. Diese oft nur geringen Verschiebungen genügten aber, dass Straßen nicht mehr passierbar waren, oder dass Entwässerungssysteme beschädigt wurden. Auf der Ostseite des Uetliberg/Albiskammes, wo die Hangneigungen stellenweise bis 45° erreichen, kam es zu zahlreichen Rutschereignissen, deren Gleitflächen Neigungen im Anrissbereich zwischen 60 und 80° aufwiesen. Dabei lösten sich vom anstehenden Fels, vermutlich infolge Wasserzutritt aus sandigen Zonen, grössere Kubaturen mergeliger Molasse. Die Mergel zerfielen unter Einwirkung des Wassers woraus sich am Fuss der Rutschmassen schliesslich Hangmuren von einigen 100 m Länge Fließstrecke entwickelten. Da durch diese Muren kaum zugängliche, nur schlecht erschlossene Waldgebiete betroffen wurden, sind ausser einigen umgestürzten Bäumen kaum Schäden angerichtet worden. Diesen Rutschen und Muren wurde entsprechend kaum Beachtung geschenkt.

Das grösste von uns festgestellte Ereignis erfasste den Gratweg ca. 600 m westlich von Uto-Kulm (Koordinaten 679'420 / 245'440, Anrissrand, Fig. 2). Dabei kamen schätzungsweise ca. 2 – 5'000 m³ Molassemergel und Sandsteinbänke in Bewegung. Der Rutsch erfasste den Weg und liess diesen um ca. 8 m abgleiten. Zudem lösten sich innerhalb des Rutschkörpers verschiedene sekundäre Teilarutsche aus, die zu seiner Abtreppung führten. Der Rutsch setzte sich bis ca. 200 m in die Tiefe fort, wobei er sich im unteren Teil, nach Zutritt von Hangwasser, zu einer Hangmure entwickelte.

Die meisten Rutschkörper bestehen vorwiegend aus Verwitterungsprodukten der Molasse (Mergel und Sandsteine). Die Gleithorizonte liegen entweder im Bereich des stark verwitterten, obersten Meters der Felsoberfläche oder sind alte, reaktivierte Gleitflächen.

Soweit feststellbar, ist es in der Fallätsche in Folge der Starkniederschläge und trotz der starken Wasserführung des Rütschlibaches erstaunlicherweise kaum zu grösseren Massenbewegungen gekommen.

Grundsätzlich können zwei Rutschtypen unterschieden werden: Jene die im Bereich der Felsoberfläche ausgebrochen sind und sich vor allem auf die steilen Flankenbereiche beschränkten, und jene, die sich eher aus den locker gelagerten Gehängelehm lösten, sei es als reaktivierte ältere Rutschungen oder als remobilisierter Schutt aus älteren Hangmuren. In der geologischen Karte Blatt Zürich ist einzig das Gebiete nördlich Stallikon als Rutschgebiet kartiert.

2. Geologisch-hydrogeologische Situation

Über dem Molasseuntergrund liegen vorwiegend Gehängelehm, untergeordnet Moränen und alte Deckenschotter.

Die meist verrutschten Gehängelehm, welche den grössten Teil der Uetliberg-Albisflanken bedecken und im Hangfußbereich kurz nach Rückzug des Gletschers zu mächtigen Lehmablagerungen akkumulierten, befinden sich in der Regel in einem labilen Gleichgewicht. Als Folge eines bereits überdurchschnittlich feuchten Winters waren die Böden vollständig wassergesättigt, so dass die ausserordentlichen Regenfälle von Mitte Mai genügten, ganze Molassepakete, vermutlich entlang von Talklüften, abzulösen und in den Gehängelehm alte Gleitflächen mit geringen Restscherfestigkeiten zu reaktivieren.

Untergeordnet finden sich, teilweise von Gehängelehm überdeckte, Moränenablagerungen der letzten Eiszeiten. Der Uetliberg oberhalb ca. 750 m, zwischen Ringli-



Fig. 2: Anrissrand Rutschung am Gratweg westlich Uto-Kulm.

kon und Mädikon war während der letzten Eiszeit nicht vergletschert, so dass hier die würmeiszeitlichen Moränen fehlen. Auf Uto-Kulm finden sich reliktische, altpleistozäne, verkittete Deckenschotter aus einer Zwischeneiszeit. Diese überlagern altpleistozäne Moränen. Auf dem Albis sowie auf der Nordflanke des Uetliberges die während der letzten Eiszeit nicht vergletschert waren, lagern über der Molasse lokal risseiszeitliche Moränen geringer Mächtigkeit.

Aus den Flanken des Albiskammes entspringen zahlreiche, teilweise gefasste Quellen, gespeist meist aus den Molassesandsteinen. In den sandigen Partien der Gehänge lehme zirkulieren im Normalfall geringe Mengen Hangwasser. Diese

führen dazu, dass die Albisflanken generell sehr feucht sind. Ein direkter Bezug zwischen den Hanginstabilitäten von 1999 und Quellen, Quellüberläufen sowie unterirdischen Fliesswegen konnte nicht hergestellt werden, da für eine verlässliche Aussage zu wenig Beobachtungen vorliegen. Auffällig war allerdings, dass sich am Fuss verschiedener Rutsche neue Quellaustritte gebildet haben, die zum Teil noch bis heute Wasser führen.

3. Ursache der Rutschereignisse

Die sehr nassen Monate September – November 98 Februar, April und Mai 99 mit weit überdurchschnittlichen Niederschlagsmengen führten dazu, dass die Böden vollständig wassergesättigt waren. In der Zeitspanne September 98 bis Mai 99 wurden in der Messstation Waldegg der SMA 146 % des langjährigen Niederschlages (1901 – 1960) gemessen. Einzig die Monate Dezember mit 57 %, Januar mit 80 % und März mit 76 % lagen unter dem langjährigen Mittel. Der Monat Mai mit 262 % (= 275.4 mm) dürfte vermutlich als Rekordmonat, der 12.5.99. mit 100.1 mm (= 100.1 Liter/m³) als Rekordtag in die Annalen eingehen.

Die enorme Durchnässtung der Böden als Folge des nassen Winters 98/99 war Voraussetzung für die zahlreichen Hanginstabilitäten, wobei die extremen Niederschläge von Mitte Mai nur noch als Auslöser wirkten.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Mitte Mai in nur 2 Tagen gefallenen Niederschläge vom bereits zuvor gesättigten Boden nicht mehr aufgenommen werden konnten. Bei allen begutachteten Rutschereignissen war denn auch fliessendes Wasser beteiligt, sei es oberflächlich, oder sei es in den durchlässigeren Zonen der Deckschichten. Der Wasserfluss konnte übrigens noch über längere Zeit nach den Rutschereignissen beobachtet werden.

Station Waldegg

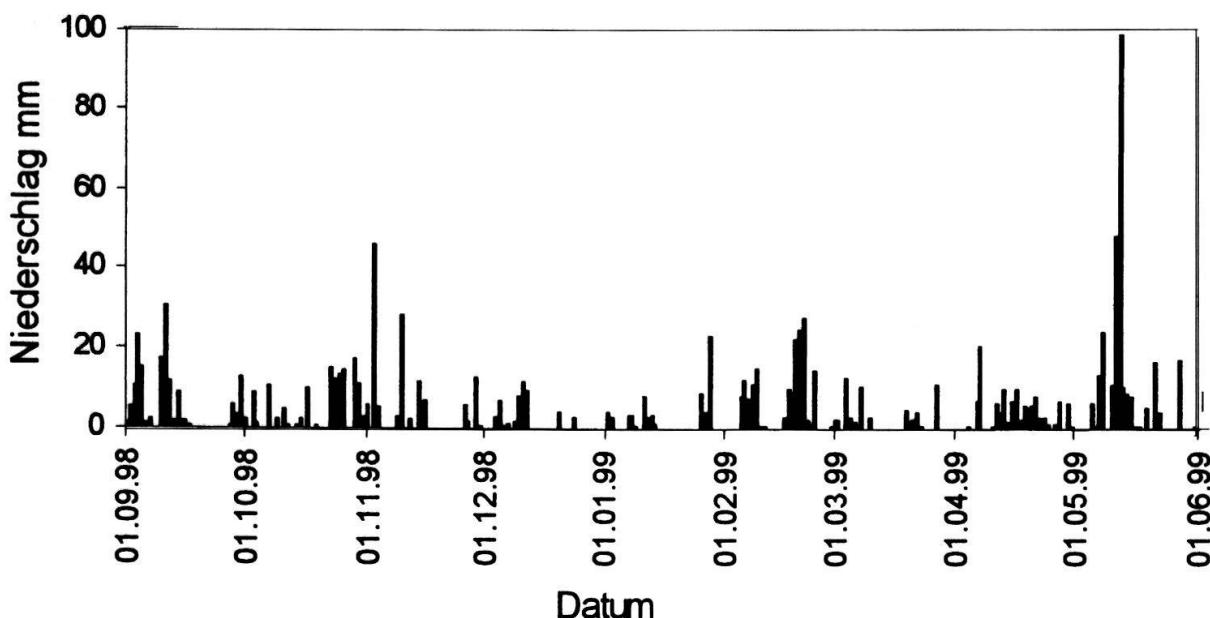


Fig. 3: SMA Station Waldegg, Niederschläge September 1998 bis Mai 1999.

Die Ursachen für die aufgetretenen Massenbewegungen sind in den geologischen Verhältnissen, in Kombination mit den relativ steilen Abhängen, der Wassersättigung der Gehängelehme und der verwitterten Felsoberfläche, und der ober- und unterirdischen Wasserführung zu sehen.

4. Gefahrenpotential

Für die besiedelten Hangfussbereiche und die Hauptverkehrsachsen im Bereich Albis -Uetliberg ist immer wieder mit Schäden infolge Rutschungen oder Hangmuren zu rechnen, wobei das Gefährdungspotential für Mensch und Siedlung eher gering ist. Schlimmstenfalls müssen für kurze Zeit Verbindungswege oder Strassen gesperrt werden. Präventiv könnten mit gezielten, einfachen Entwässerungsmaßnahmen im Bereich gefährdeter Siedlungen oder Verkehrsachsen Stabilisierungen erreicht werden. Weitergehende bauliche Massnahmen drängen sich dagegen keine auf. Der überwiegende Teil der potentiellen Rutschgebiete ist bewaldet oder dient als Weideland. Die weiten Waldgebiete werden nur extensiv oder gar nicht genutzt. Diese sollen zudem zum grösseren Teil in den neuen Naturpark Sihlwald integriert und damit Bestandteil einer dynamischen Naturlandschaft werden.

5. Folgerungen

Dort wo Siedlungen, Strassen oder Bahnlinien im Einflussbereich der beschriebenen Massenbewegungen liegen, können mit der Anlage von zweckmässig dimensionierten Entwässerungen nachhaltige und wirksame Stabilisierungen erreicht und der Eintritt von Schadenereignissen stark reduziert werden. Im Bereich der übrigen, nicht besiedelten Gebieten sind bauliche Massnahmen kaum angezeigt. Der Albis und Uetliberg sind wichtige Naherholungs- und Wandegebiete, in einem weitgehend natürlichen, noch unversehrten Umfeld. Es ist wirtschaftlicher und auch ökologisch zweckmässiger, die jeweils eingetretenen Schäden mit einfachen Mitteln zu beseitigen, als zu versuchen, diese präventiv mit kostspieligen baulichen Massnahmen zu verhindern, zumal trotz aller Verbauungen immer noch Schäden entstehen können.

A2 - Lehnenviadukt Beckenried, Hanginstabilitäten Ischenwald (Beckenried, NW)

mit 3 Figuren

DANIEL BOLLINGER *, RETO MURER *

Zusammenfassung

Die sich seit Ende Februar 1999 in Form von Hangmuren und dem Absturz von zum Teil riesigen Kalkblöcken manifestierenden Hanginstabilitäten oberhalb Beckenried (NW) gipfelten am 8. Juni in einer tiefgründigen Rutschung von ca. 2.5 Mio. m³. Durch die Ereignisse wurden die Kantonsstrasse mehrmals verschüttet und das A2 - Lehnenviadukt gefährdet. Im Gegensatz zu den zahlreichen in der Schweiz beobachteten Ereignissen trat das Hauptereignis erst anfangs Juni 1999 ein. Retrospektiv betrachtet nahm es seinen ersten Anfang allerdings bereits im nassen Spätherbst 1998, gefolgt von grösseren Teileignissen Ende Februar und Ende Mai 1999. Für die Auslösung des Hauptereignisses entscheidend war das Versagen eines Teils der früheren Entwässerungsmassnahmen, welche im Zusammenhang mit dem Bau des Lehnenviaduktes erstellt worden waren.

1. Ereignisse

1.1 Ausgangssituation

Am Morgen des 22. Februar 1999 löste sich im Ischenwald auf Kote 750 eine Hangmure von einigen 100 m³ und verschüttete die Kantonsstrasse von Beckenried nach Emmetten (NW). Weitere Materialabgänge dieser Art folgten in unregelmässigen Abständen, wobei wiederholt die Strasse Beckenried – Emmetten beeinträchtigt wurde. Die Ereignisse gipfelten, als am 8. Juni 1999 im Gebiet des Ischenwaldes auf einer Fläche von etwa 110'000 m² rund 2.5 Mio. m³ Lockergestein auf einer im Mittel 15 – 20 m, maximal bis 45 – 50 m tiefen Gleitfläche in Bewegung gerieten (Koord. 680'400/201'100). Über die darunterliegende felsige Steilstufe abbrechend, bewegten sich ca. 75'000 m³ Lockergestein talwärts. Ein Teil ergoss sich murgangähnlich längs der abgedichteten, künstlichen Gerinne des Erlibachs und Kellbachs in den Vierwaldstättersee, ein Teil bewegte sich in Form einer zähflüssigen Masse über das Wiesland seewärts. Bei einem Pfeiler des A2-Lehnenviaduktes ergoss sich Material in den über 40 m tiefen, zum Auffangen der über den ganzen Hangabschnitt verbreiteten Hangbewegungen als Hohlraum um den Pfeiler konzipierten Schacht. Daneben lösten sich wiederholt zum Teil riesige Kalkblöcke von bis zu 80 t (23. Mai) aus der Schuttmasse und sprangen bzw. rollten bis auf die Kantonsstrasse.

* Schneider, Kellerhals + Haefeli AG, Bahnhofplatz 1a, 6370 Stans

Im eigentlichen Rutschgebiet traten Geländeverschiebungen bis über 30 m auf und das Gebiet senkte sich längs des Hauptanrisses stellenweise um mehrere Meter. Als Folge des Hauptereignisses vom 8. Juni 1999 blieb die Kantonsstrasse Beckenried – Emmetten bis zum Abend des 16. Juni 1999 unpassierbar. Die Materialabgänge führten zur Zerstörung eines Starkstrommastes der EW Nidwalden, von Giebelsammlern und wasserbaulichen Massnahmen an den steilen Gerinnen, zur Zerstörung eines Landwirtschaftsgebäudes, zu Zerstörung von Wiesland sowie zu Umgebungsschäden im darunterliegenden Siedlungsgebiet. Im Verlaufe des Sommers sind die Bewegungen innerhalb der aktiven Rutschmasse stark abgeklungen. Die heutigen Bewegungsraten (März 2000) übersteigen diejenigen von vor 1999 stellenweise aber noch um ein Mehrfaches.

1.2 Frühere Hangsanierungsmassnahmen

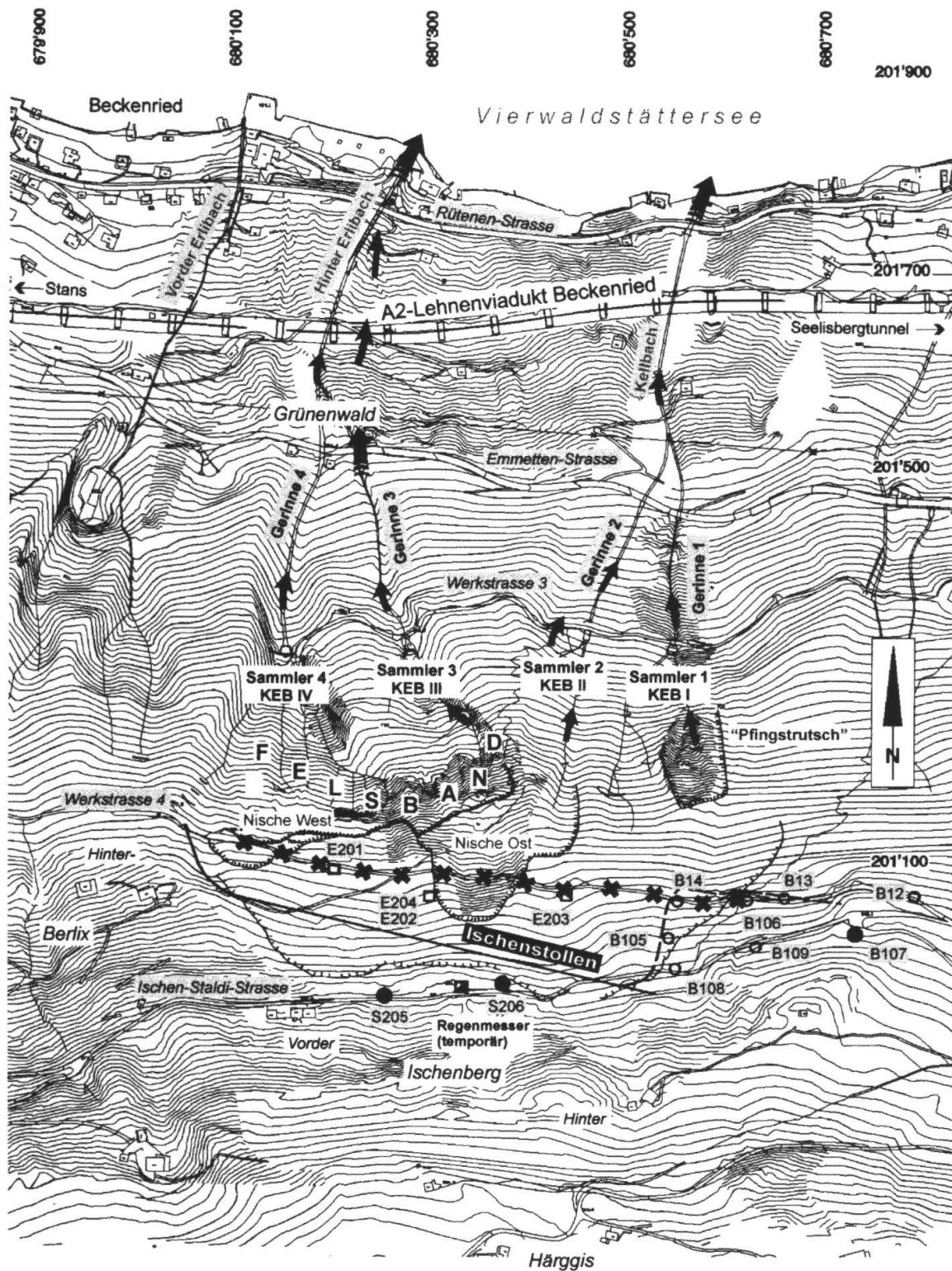
Schon zu Beginn der 70er Jahre sind Teile des ausgedehnten Rutschgebietes Ischenwald verstärkt in Bewegung geraten. Es gefährdete mit den daraus hervorgehenden Hangmuren die darunterliegenden Gebiete, inklusive den über 3 km langen Lehnenviadukt der A2-Transitachse. Nach den damals vorliegenden Kenntnissen wurde als einzige erfolgsversprechende Massnahme zur Reduktion der Hangbewegungen eine Entwässerung der Rutschmasse durch einen im Fels liegenden und mit einem Schirm von Drainagebohrungen versehenen, rund 825 m langen Entwässerungsstollen (sog. Ischenstollen) vorgeschlagen. Nach dessen Erstellung in den Jahren 1977 – 1980 (Stollenverlängerung 1987 – 1989), nahmen die geodätisch gemessenen Bewegungen im Gebiet Ischenwald generell ab. Die verbleibenden Maxima im zentralen Teil des Rutschgebietes bezifferten sich vor den Ereignissen von 1999 auf durchschnittlich 3.5 cm/Jahr.

2. Disposition

2.1 Grunddisposition: Geologisch – hydrologischer Kontext

Das Rutschgebiet Ischenwald bildet den Fuss einer ausgedehnten, tiefgründigen Rutschungs- und Sackungsmasse auf einer Unterlage von Wildflysch und Mergeln der oberen Kreide, welche sich auf der Nordseite der Klewenalp in teils bewaldetem, teils bewirtschaftetem Gebiet hangaufwärts bis ca. Kote 1200 erstreckt. Das Volumen dieser alten, substabilen bis wenig aktiven Rutschmasse ist nicht bekannt, dürfte jedoch in der Grössenordnung mehrerer Zehner von Mio. Kubikmeter liegen. Im Ischenwald streicht die basale Gleitfläche dieser Rutschmasse ca. auf Kote 740 über dem Felsuntergrund an die Terrainoberfläche aus. Auf dem Felsuntergrund entwässert sich zugleich ein etwa 2 km² grosses Einzugsgebiet, das über praktisch keinen Oberflächenabfluss verfügt und sich zu einem grossen Teil in ergiebigen Quellen im Ischenwald entwässert.

Die Lockergesteine sind sehr heterogen ausgebildet: Über der Verwitterungsschicht des ein ausgeprägtes Relief aufweisenden Felsuntergrundes folgt Grundmoräne, darüber – in unregelmässiger Abfolge und gegenseitig verzahnt – versackte Felsspakete, Blockschutt, verlehnter Gehängeschutt sowie feinmaterialarmer Gehängeschutt. Entsprechend dem heterogenen Aufbau der Lockergesteine ist die Durchlässigkeit sehr variabel. Während die blockigen und feinmaterialarmen Gesteine als potenzielle Wasserfliesswege wirken, bildet der verlehnte Gehänge-



- | | | | |
|---|---------------------------------|-------|---|
| ✗ | Strasse zerstört | ~~~~~ | Hauptanriss |
| ↑ | Materialabgänge | ~~~~~ | Ausbruchnischen der Materialabgänge
1999 |
| ● | Bohrung mit Inklinometer | ~~~~~ | Abbruchrand der aktuellen Rutschfront
(Böschung oberhalb Felsband) |
| ○ | Inklinometer nicht mehr messbar | ~~~~~ | |
| □ | Schrägbohrung mit Extensometer | ~~~~~ | |

Fig. 1: Situation Ischenwald – A2 Lehnenviadukt Beckenried.

schutt, die Grundmoräne und insbesondere der Felsuntergrund ausgeprägte Stauhorizonte.

Der erhebliche Hangwasserzustrom hatte im Raum Ischenwald stets eine starke Wassersättigung des Lockergesteinsuntergrundes und permanente Hangbewegungen von durchschnittlich mehreren cm pro Jahr zur Folge. Wiederholt gerieten Teile des Gebietes in stärkere Bewegung und es lösten sich Rutschpakete, welche im Falle von starker Wassersättigung in Form von Hangmuren talwärts fuhren (1970, 1971, 1972, 1983). Die im Vergleich zu den bergwärts angrenzenden Bereichen tendenziell stärkeren Bewegungen am Fuss der instabilen Masse führten im Ischenwald zur Ausbildung eines markanten, heute teils mehrere Meter hohen Anrissrandes, der auch die Begrenzung der jüngsten Ereignisse darstellt.

2.2 Variable Disposition und auslösendes Ereignis

Die Ursache der Hanginstabilitäten des Jahres 1999 ist den ausserordentlichen Witterungsverhältnissen des Winterhalbjahres 1998/99 zuzuschreiben. Ergiebige Niederschläge führten bereits im Spätherbst 1998 zu einem starken Wassereintrag in den Untergrund. Messungen an den 1997 zur Überwachung eingerichteten Extensometern liessen bereits damals leicht beschleunigte Bewegungsraten erkennen. Durch weitere Niederschläge im ersten Quartal 1999 und das Schmelzen der überdurchschnittlich mächtigen Schneedecke im Frühjahr wurde die Wassersättigung des Bodens bei gleichzeitiger Abnahme der Festigkeitseigenschaften kontinuierlich erhöht.

Unter Berücksichtigung einer kurzen zeitlichen Verzögerung korreliert das Abflussverhalten des Drainagestollens weitgehend mit den Witterungsverhältnissen und mit der Entwicklung des Wassereintrages in den Hang, welcher seinen Höhepunkt in der Folge der Pfingstniederschläge fand. Das direkt auslösende Moment für die dramatischen Ereignisse vom 8. Juni 1999 bildete jedoch das Versagen des Drainageschirmes im Entwässerungsstollen. Zwischen dem 26. Mai und dem 2. Juni 1999 sank der Ausfluss des Stollens von rund 60 l/s auf 3 l/s. Nachträgliche Untersuchungen zeigten, dass in dieser Zeit auf einer Stollenlänge von gut 700 m sämtliche 164 Drainagebohrungen abgeschert worden sein mussten, was einzig mit einer letztlich durch die ergiebigen Pfingstniederschläge ausgelösten, tiefgründigen Beschleunigung der Rutschmasse im Ischenwald zu erklären ist. Deren erhöhte Empfindlichkeit war indes bereits durch den ungünstigen Witterungsverlauf des vorhergehenden Winterhalbjahres gegeben.

3. Gefahrenmanagement

3.1 Sofortmassnahmen

Die wiederholte Verschüttung der Kantonsstrasse bedingte teilweise mehrtägige Räumungseinsätze. Nebst den Verkehrswegen mussten dabei vordringlich auch die Bachgerinne und Geschiebesammler freigelegt werden, was sich über mehrere Wochen erstreckte. Bis Mitte August 1999 wurden allein 60'000 m³ Material weggeführt, was den Einsatz von Gerätschaften aus dem gesamten Kanton erforderte. Da die Arbeiten stets durch weitere Materialabgänge sowie durch Stein- und Blockschlag aus der über eine Felswand abbrechenden Rutschfront gefährdet waren, wurde von Beginn an eine Überwachung durch die örtlichen Feuerwehren ein-

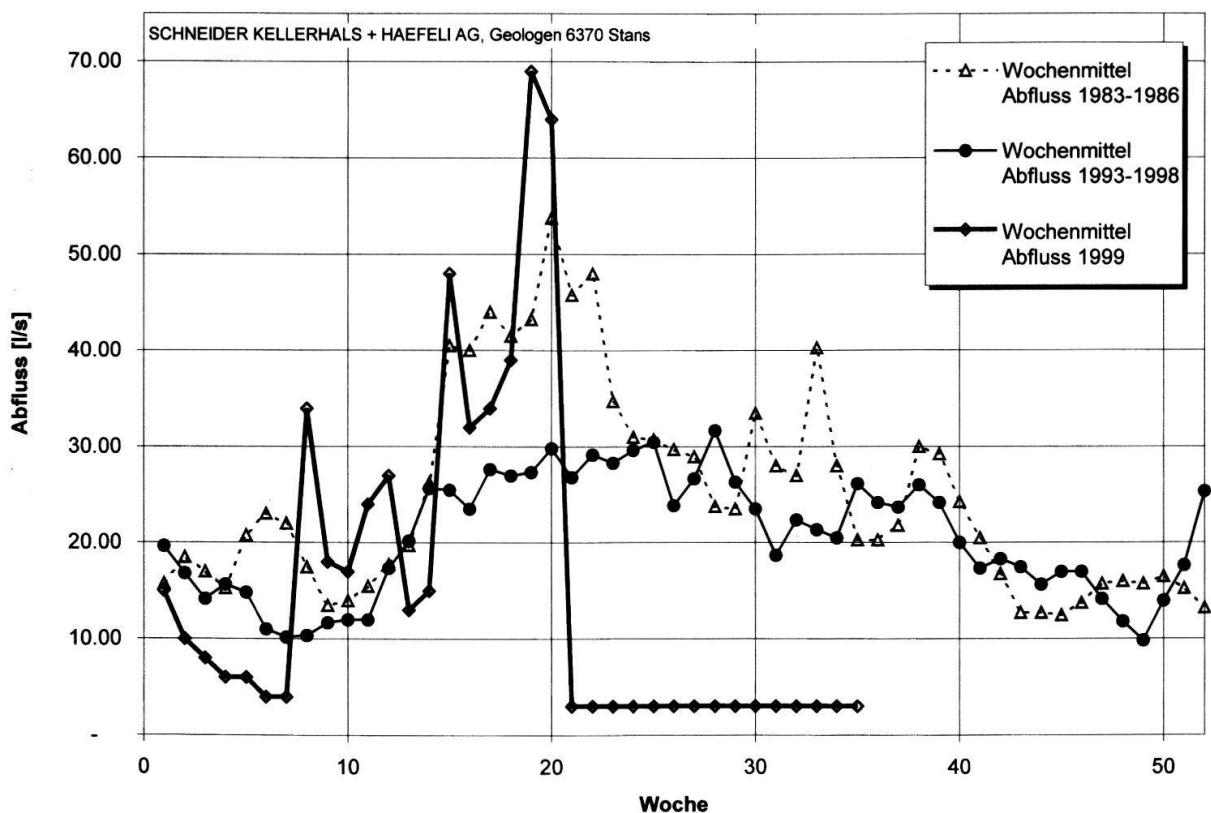


Fig. 2: Abflussganglinien des Ischenstollens (Wochenmittel 1999 im Vergleich mit den durchschnittlichen Wochenmitteln von 1983 – 1986 und 1993 – 1998).

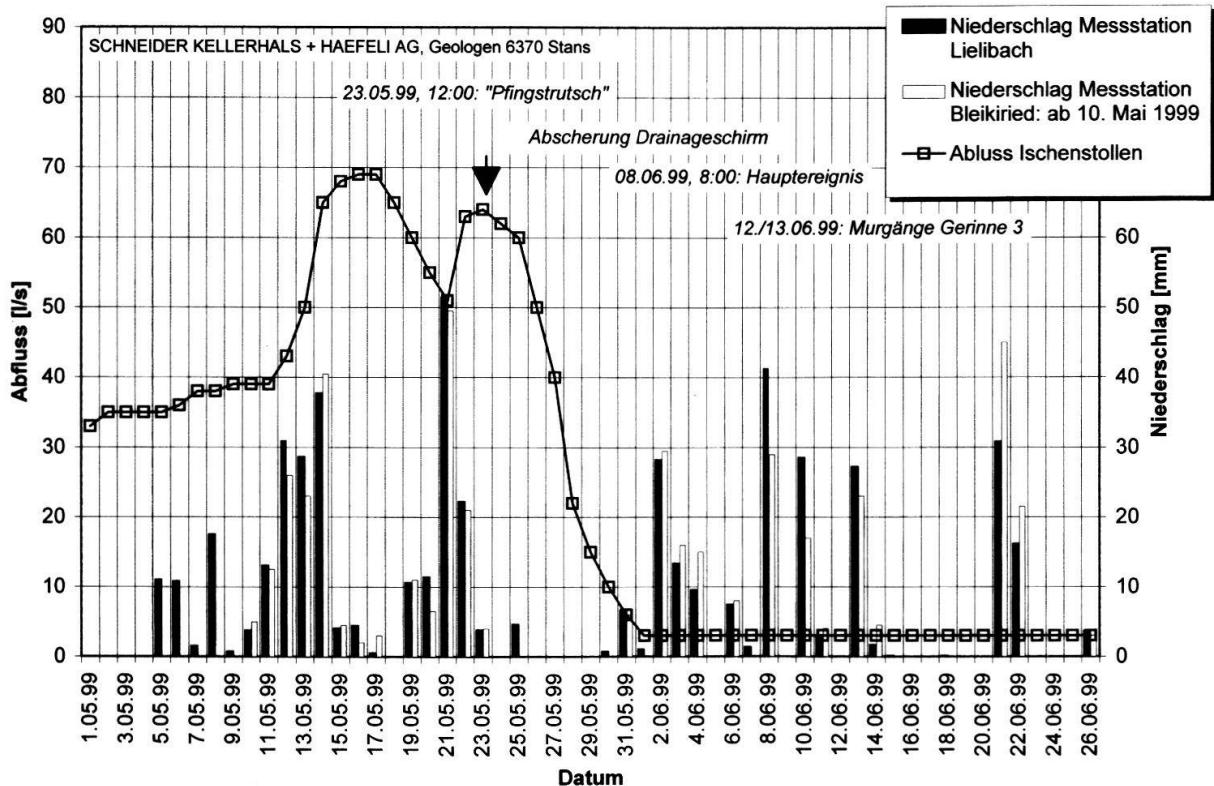


Fig. 3: Abflussganglinien des Ischenstollens und Niederschläge Lielibach (Tageswerte Mai – Juni 1999).

gerichtet. Da die personellen Kapazitäten infolge der z.T. 24-stündigen Einsatzdauer rasch erschöpft waren, wurde der Zivilschutz und zusätzlich das Militär aufgeboten. Nebst der Überwachung oblag diesen Einheiten auch die Verkehrsregelung, nachdem die Strassenverbindung nach Emmetten am Abend des 16. Juni 1999 – mit Behinderungen und zeitlichen Unterbrüchen – wieder geöffnet werden konnte.

Bereits vor dem Hauptereignis vom 8. Juni 1999 formierte sich ein kantonaler Führungsstab, welcher die Sofortmassnahmen in die Wege leitete und koordinierte sowie die Öffentlichkeit informierte (Presse, Einrichtung einer Hotline). Infolge der Ereignisse waren die Gemeinden Emmetten (NW) und Seelisberg (UR) für mehrere Tage nur über einen speziell eingerichteten Auto-Fährdienst auf dem Vierwaldstättersee erreichbar.

Zwecks Sicherstellung einer Notverbindung wurde kurz nach den Ereignissen mit der Evaluation und dem Bau einer Notstrasse von Beckenried nach Emmetten begonnen. Im September 1999 wurde diese Strasse durch teils bewaldetes sowie topografisch und geotechnisch anspruchsvolles Gelände (grösstenteils Rutschgebiete) fertiggestellt.

Unmittelbar nach dem Ereignis vom 8. Juni wurden zum Schutz des Siedlungsgebietes Ablenkdämme errichtet und die potenziell gefährdeten Pfeiler des Lehnenviaduktes mittels provisorischen Ablenkeilen aus Larsen-Elementen oder Baumstämmen geschützt.

Im Rutschgebiet selbst wurden behelfsmässige Messprofile (Messungen mittels Messband) angelegt. Die im Rahmen der früheren Überwachung der Hangbewegungen installierten Extensometer konnten wieder instandgestellt werden, so dass nach kurzer Zeit wieder ein Instrument zur Verfügung stand, das die Bewegungen auch im tieferen Untergrund reflektierte. In den ausserhalb des Rutschgebietes vorhandenen Inklinometern wurden Folgemessungen durchgeführt, ebenso an dem seit 1973 bestehenden und sukzessive erweiterten, geodätischen Messstellennetz.

Das Rutschgebiet und die angrenzenden Gebiete wurden regelmässig durch den Geologen begangen und kartiert (Karte der Phänomene). Während der mehrwöchigen Räumungsarbeiten wurde das Rutschgebiet allmorgendlich vor Arbeitsbeginn (d.h. zwischen ca. 5 – 6 h) durch den Geologen oder den Revierförster kontrolliert. Die Arbeiten wurden jeweils erst aufgenommen, wenn von dieser Seite grünes Licht gegeben wurde.

3.2 Mittel- bis längerfristige Massnahmen

Bereits unmittelbar nach den Ereignissen wurde erkannt, dass die weitere Entwicklung im Rutschgebiet massgeblich von folgenden Faktoren abhängig sein wird:

- I Zeitpunkt der wiederhergestellten Funktionstüchtigkeit des Drainagestollens;
- II Reaktion der bergseitig an das aktuelle, aktive Rutschgebiet angrenzenden, ebenfalls instabilen Talflanke auf die jüngsten Ereignisse;
- III Zukünftige, längerfristige Entwicklung der Witterungsverhältnisse (insbesondere Niederschlagsmengen und -intensitäten).

Die Punkte II und III waren vorderhand nicht zu beurteilen und die Wiederinstandstellung des Drainagestollens erfordert voraussichtlich eine längere Bauzeit. Deshalb wurde kurz nach dem Hauptereignis beschlossen, die Geschieberückhaltekapazitäten oberhalb der Verkehrswege und des Siedlungsgebietes zu erhöhen.

Behelfsmässig wurde dies bereits im Rahmen der Räumungsarbeiten ausgeführt. Im definitiven Konzept sind zwei Linien von Rückhalteräumen vorgesehen: Eine erste am Fuss der felsigen Steilstufe, eine zweite unmittelbar bergseits der Kantonsstrasse Beckenried - Emmetten. Die Bauarbeiten an der oberen Reihe der Geschiebesammler werden im Laufe des Jahres 2000 in Angriff genommen. Zum Schutz der potenziell gefährdeten Pfeiler des Lehnenviaduktes werden ebenfalls in diesem Jahr definitive Ablenkkeile in Massivbauweise erstellt.

Nachdem anstelle der durch die Ereignisse zerstörten Erschliessung eine neue Zufahrt erstellt worden war, konnten die Bohrarbeiten im Drainagegestollen im November 1999 aufgenommen werden. Sie werden voraussichtlich Mitte des Jahres 2000 abgeschlossen sein. Erst mit der Reduktion der Hangwasserzuflüsse kann von einer Erhöhung der Festigkeitseigenschaften im Bereich des Rutschgebietes ausgegangen werden. Die bis in den Frühling 2000 im westlichen Teil des Stollens ausgeführten Bohrungen haben bereits eine solche Wirkung entfaltet.

Bis sich im Rutschgebiet wieder Festigkeiten aufbauen können, wird in den nächsten 3 – 5 Jahren wiederholt mit Materialabgängen in der Grössenordnung von 1'000 – 3'000 m³ pro Ereignis aus der Rutschfront zu rechnen sein. Nicht ganz auszuschliessen ist eine Rutschung oder Hangmure von 10'000 – 15'000 m³ aus einem destabilisierten, aber noch nicht "entladenen" Teilgebiet der letztjährigen Rutschung. Mit den erwähnten Rückhaltekapazitäten sind solche Ereignisgrössen in des beherrschbar.

Die zukünftige Entwicklung der bergseitig an das Rutschgebiet angrenzenden, im langjährigen Durchschnitt bisher substabilen bis wenig aktiven Hangbereiche ist kaum zu prognostizieren. Es ist denkbar, dass die Materialabgänge zu einer Aktivierung angrenzender Bereiche führen (Fussentlastung). Um die weiteren Entwicklungen überwachen zu können, wurde das vorhandene bzw. nicht durch die Ereignisse zerstörte Messdispositiv durch im stabilen Felsuntergrund in bis zu 110 m Tiefe verankerte Inklinometer- und Mehrfach-Extensometer (Länge bis 85 m) erweitert.

4. Folgerungen

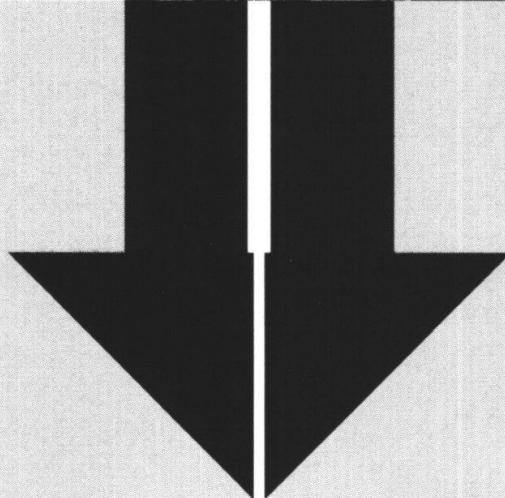
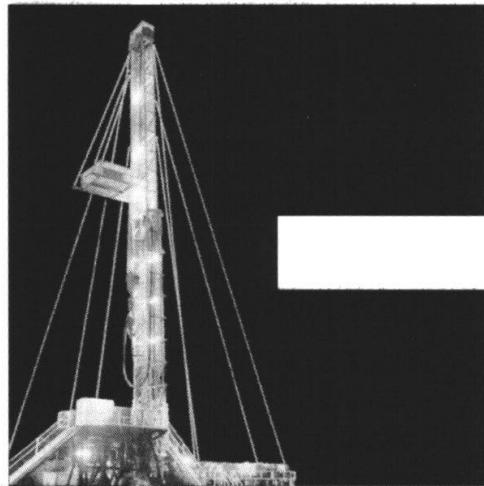
Im Gegensatz zu den zahlreichen in der Schweiz beobachteten Ereignissen trat das Hauptereignis erst Anfang Juni 1999 ein. Retrospektiv betrachtet nahm es seinen ersten Anfang allerdings bereits im nassen Spätherbst 1998, gefolgt von grösseren Teilereignissen Ende Februar und Ende Mai 1999. Für die Auslösung des Hauptereignisses entscheidend war das Versagen eines Teils der früheren Entwässerungsmaßnahmen, welche im Zusammenhang mit dem Bau des Lehnenviaduktes erstellt worden waren.

FORALITH AG

Bohr- und
Bergbautechnik

St.Galler Strasse 12
CH-9201 Gossau SG
Internet:
<http://www.foralith.ch>

Telefon 071 388 89 29
Telefax 071 388 89 25
E-Mail:
foralith@foralith.ch



Ein Schweizer
Bohrunternehmen, das
wirklich in die Tiefe geht,
bis 4000 Meter.

- Bohrungen für Erforschung und Erkundung von Lagerstätten, Geothermie, Tiefengrundwasser; Produktionsbohrungen.

- Tiefbohrungen mit Seilkern- und Rotary-Verfahren.

- Zielgenaue Bohrungen auch für Kabelführung, Lüftung und Entwässerung, in sämtlichen Richtungen.

- Grossloch- und Raisebohrungen

- Schachtbau

- Dükerbohrungen für Werkleitungen aller Art zur Unterquerung von Hindernissen.

- Horizontalfilter-Brunnen, vertikale Grossfilter-Brunnen

- Beratung

- Planung

- Ausführung

Heat mining™

Die Rutschung Glöcheret (Attinghausen, UR)

mit 5 Figuren

KLAUS LOUIS-MEIER¹⁾ & JULES SEILER²⁾

Zusammenfassung

Die 6 Mio m³ grosse Rutschung Glöcheret wurde nach einer von ergiebigen Niederschlägen begleiteten, intensiven Schmelzperiode im Juni 1970 aktiviert. Nach dem Ereignis wurden im zentralen und nördlichen Rutschperimeter die beschädigten Quellfassungen repariert und neue Fassungen erstellt. Bei sehr ähnlichen Witterungsverhältnissen wie im Frühling 1970 kam Ende Mai 1999 der südliche, bis anhin nicht entwässerte Teil der Rutschung mit einer Kubatur von rund 0.5 Mio m³ in Bewegung. In den Tagen vor der Rutschauslösung stiegen die Quellschüttungen auf ein Vielfaches des langjährigen Jahresdurchschnittswertes an. Den letzten Anstoß zur Aktivierung gab der Starkniederschlag vom 21. Mai 1999.

Das Fallbeispiel zeigt, dass für die Auslösung der Grossrutschung eine Eintretenswahrscheinlichkeit besteht, die an das zufällige Zusammentreffen von aussergewöhnlichen Witterungsverhältnissen (intensiv, mit ergiebigen Niederschlägen begleitete Schmelzperiode) geknüpft ist.

Der Hangwasserentzug durch Quellfassungen erhöht die Stabilität der Rutschmasse resp. reduziert die Wahrscheinlichkeit einer Reaktivierung ganz entscheidend.

1. Frühere Ereignisse

Die oberhalb von Attinghausen gelegene, ostexponierte Hangflanke Glöcheret (Koord. 689'150/190'150) ist ein postglaziales Rutschgebiet, das in der unteren Verlängerung der mehrere Mio m³ grossen Felssackung des Seewliberges (1'546 m ü.M.) liegt. Der Waldboden ist mit alten Sturzblöcken bedeckt, zwischen denen sich grosse Hohlräume befinden, worauf wohl der Name Glöcheret ("gelöchert") zurückzuführen ist.

Im überaus niederschlagsreichen Spätfrühling 1910 ereigneten sich im Inner-schweizer Alpenraum viele Grossrutschungen (z.B. Beckenried/NW, Sörenberg/LU) und unzählige Hangmuren. Der Vierwaldstättersee erreichte am 17. Juni 1910 mit 435.25 m ü.M. seinen Höchststand im 20. Jh. Leider existieren aus jener Zeit keine historischen Aufzeichnungen über allfällige Rutschereignisse im Glöcheret. Bekannt ist allerdings, dass nach 1910 im Glöcheret mehrere grosse Quellfassungen erstellt wurden. Es ist deshalb anzunehmen, dass seinerzeit auch im Glöcheret Rutschungen auftraten, und dass die Quellfassungen primär der Rutschsanierung (Hangentwässerung) dienten.

¹⁾ Louis Ingenieurgeologie, Luzernerstrasse 33, 6353 Weggis

²⁾ Geoplan, Bahnhofstrasse 58, 6460 Altdorf

Am 16.6.1970 geriet im Glöcheret, im Anschluss an eine starke, von hohen Niederschlägen begleitete Schneeschmelze, eine max. 600 m breite und max. 400 m lange Hangpartie von rund 6 Mio m³ tiefgründig in Bewegung (Fig. 1). Am unteren Rand dieser 17 ha grossen Rutschung wurden zwei sekundäre Rutschschollen mobiliert, die sich als Murströme talabwärts wälzten. Bei diesem Rutschereignis sind die Quellfassungen von 1910 schwer beschädigt worden. In den 80er- und 90er Jahren wurden die alten Fassungen saniert und zusätzliches Hangwasser gefasst. Der Vierwaldstättersee erreichte am 29. Juni 1970 mit 434.86 m ü.M. den dritthöchsten Pegelstand des 20. Jh.. In jenen Tagen kam auch die ca. 15 km entfernt gelegene Rutschung Beckenried/NW nach einer längeren Ruhephase wieder grossräumig in Bewegung.

2. Ereignis vom Mai 1999

Die intensive Schneeschmelze von Mitte Mai 1999 und die gleichzeitigen ergiebigen Regenfälle (am 23. Mai 1999 erreichte der Vierwaldstättersee mit 434.93 m ü.M. den zweithöchsten Pegelstand des 20. Jh.) führten im Glöcheret zur Auslösung einer 2 ha grossen, tiefgründigen Rutschung mit einer Kubatur von rund 0.5 Mio m³ (Fig. 1). Der Rutsch wurde am 29.5.1999 vom Brunnenmeister während einer Kontrolle der Quellfassungen entdeckt; bei einem Kontrollgang am 22.5.1999 waren noch keine Rutschzeichen vorhanden. Wann genau der Rutsch letztendlich aktiviert wurde, ist nicht bekannt.

Am 30.5.1999 führten Mitglieder des Gemeinderates eine Augenscheinnahme im Rutschgebiet Glöcheret durch. Damals wurden in den Medien fast täglich neue Naturgefahrenereignisse gemeldet (z.B. Rutschungen Beckenried/NW, Sörenberg/LU und Weesen/SG; Felssturz Isleten/UR; Hangmuren Bürgler Berge/UR und Flüelen/Gruontal/UR). Vor diesem Hintergrund und in Anbetracht der bedrohlich erscheinenden Situation im Rutschgebiet Glöcheret befürchteten die Teilnehmer dieser Begehung, dass die nahegelegenen Quellfassungen bei einer Ausweitung des Rutschperimeters beschädigt würden resp. dass bei einem weiteren Vorstossen der Rutschmasse eine Murgang- und Steinschlaggefährdung für das südliche Wohngebiet von Attinghausen bestehe.

Am 31.5.1999 wurde der Geologe zur Beurteilung der Gefahrensituation auf den Platz berufen. Als Sofortmassnahme wurden mehrere einfache Messtellen eingerichtet, welche anfänglich mehrmals täglich, später in täglichen Intervallen, nachgemessen wurden. Dabei wurden keine nennenswerten Verschiebungen mehr registriert, womit feststand, dass die Rutschbewegung am 31.5.1999 praktisch schon abgeschlossen war.

Der phänomenologisch scharf umgrenzte Rutschperimeter hat eine Breite (N-S) von max. 160 m und eine Länge (E-W) von max. 130 m. Seine obere Anrisskante (ca. 1'280 m ü.M) war als bis zu 2 m hoher Vertikalversatz ausgebildet, an dem Horizontalverschiebungen von bis zu 3 m stattfanden. An den seitlichen Scherrändern klaffte der Waldboden bis zu 1 m auseinander, und es wurden mehrere Bäume schief gestellt oder umgerissen. Die Rutschfront (ca. 1'180 m ü.M.) war wulstartig mehrere Dezimeter weit nach vorne geschoben, wobei eine Trockensteinmauer zerstört wurde. Hingegen waren im zentralen Bereich der Rutschscholle an der Erdoberfläche kaum Bewegungsspuren ausgebildet.

Der südliche und der westliche Anriss der Rutschung vom Mai 1999 folgten der Abbruchkante der Rutschung von 1970, womit klar ersichtlich war, dass der süd-

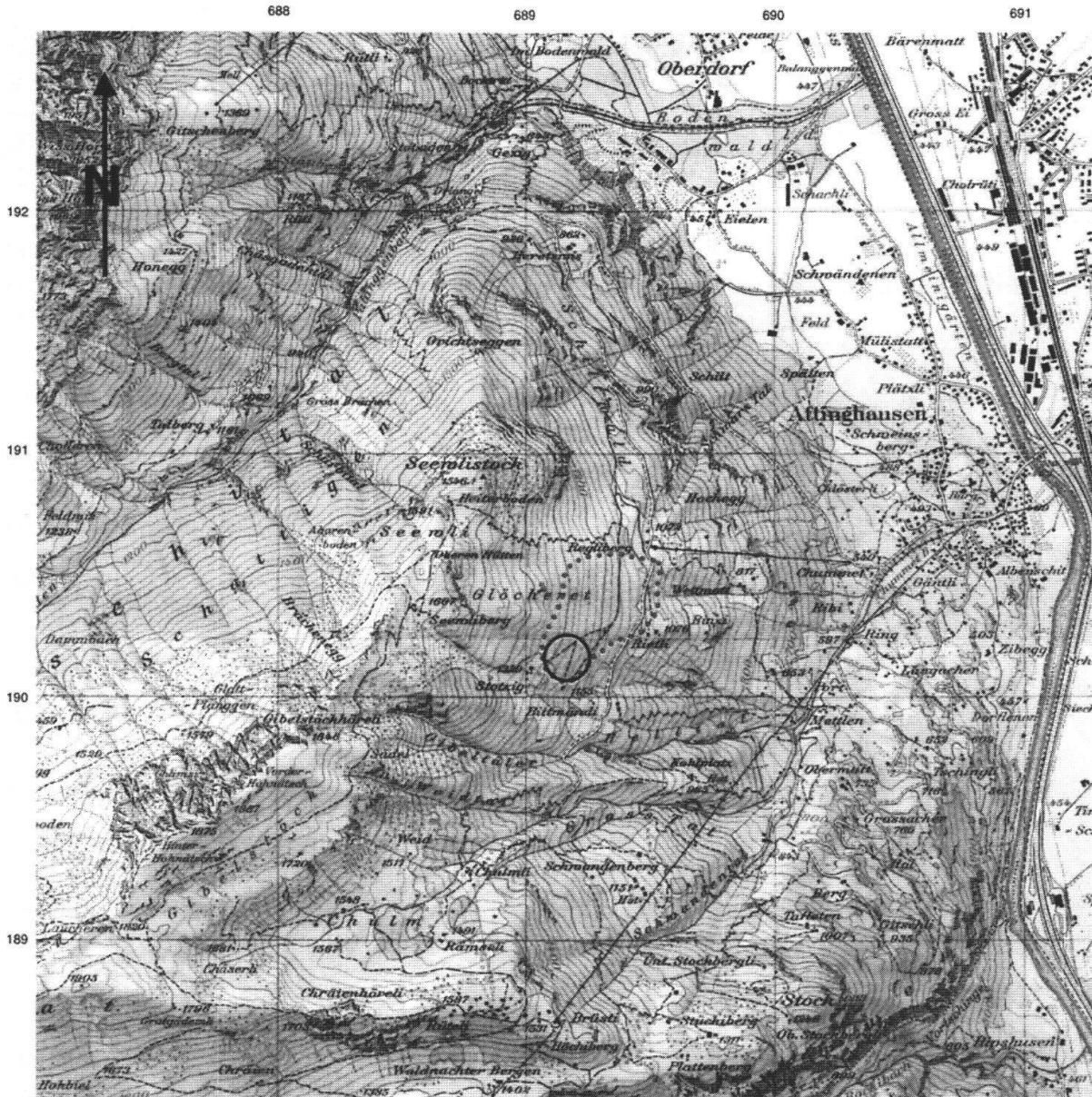


Fig. 1: Lage des Rutschgebietes Glöcheret. Die punktierte Linie zeigt den Rutschperimeter von 1979, der Kreis den Perimeter vom Mai 1999. Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie (BA 002611).

lichste Teil der alten Rutschung entlang bestehender Grenzen reaktiviert wurde. Innerhalb des Rutschperimeters vom Mai 1999 existieren keine Quellfassungen; der nördliche Scherrand verläuft jedoch nur 20 m an bestehenden Fassungen vorbei. Die drainierten Bereiche des Rutschperimeters von 1970 blieben im Mai 1999 von den Rutschbewegungen völlig verschont.

3. Grunddisposition

Nach dem grossen Rutschereignis von 1970 wurde das Gebiet Glöcheret umfassend geologisch und geophysikalisch untersucht. Der Felsuntergrund besteht aus der alttertiären Altdorfersandstein-Dachschiefer-Gruppe. Oberhalb Kote 1250 herrschen sandige, darunter schiefrige Serien vor. Die spitzwinklig gefalteten Schichten fallen flach bergwärts ein.

Die Lockergesteinsmächtigkeit beträgt im Anrissbereich 40 – 50 m, im zentralen Rutschbereich 20 – 30 m, und an der Rutschfront 5 – 10 m. Der Verlauf der Felsoberfläche verflacht sich von ca. 45° im Anrissbereich bis auf ca. 15° am Rutschfuss. Innerhalb dieser sesselförmigen Felsmulde fanden die Abgleitbewegungen der Lockergesteinsauflage in Form einer Rotationsrutschung statt.

Die obere Partie der Rutschmasse setzt sich aus einem locker bis mitteldicht gelagerten, sandig-siltig-blockigen Bergsturz- und Gehängeschutt zusammen, dessen Grobkomponenten überwiegend aus Sandsteinen der höheren Lagen bestehen. Auftrittendes Meteorwasser versickert umgehend in den porösen Untergrund; demzufolge gibt es innerhalb des Rutschgebietes auch keine Oberflächengewässer. In den unteren Partien der Rutschmasse überwiegen die schwach bindigen, tonig-siltigen Verwitterungsprodukte des anstehenden Dachschiefers. Auf diesen potentiellen Gleithorizonten können Teilbewegungen resp. Zergleitungen der Rutschmasse auftreten; als Hauptgleitfläche fungiert aber der tonreiche Felsuntergrund oder dessen Verwitterungszone.

Die mittlere Hangneigung von 30 – 34° entspricht in etwa dem natürlichen Reibungswinkel der Gehängeschuttauflage.

4. Rutschauslösende Faktoren

4.1 Niederschläge

Die bis weit in den Frühling andauernde Schneeschmelzperiode war von überdurchschnittlich hohen Niederschlägen begleitet. Im Zeitraum vom 10. – 15.5.1999 wurden in den nächstgelegenen Wetterstationen Regenmengen von 130 mm (Station Isenthal) und 78 mm (Station Altdorf) gemessen. Am 21.5.1999 fielen in Altdorf 65 mm und in Isenthal 76 mm Regen (Fig. 2).

4.2 Schneehöhen/Temperaturen

Auf der Wetterstation Gütsch ob Andermatt (2'287 m ü.M.) erreichten die Schneehöhen Mitte Februar mit über 4 m das Maximum. Bis Mitte April ging die Schneehöhe auf 2.5 m zurück, um dann nach einem ergiebigen Schneefall noch einmal auf 3.8 m anzuwachsen. Ab Ende April setzte dann, verbunden mit einem markanten Lufttemperaturanstieg (Fig. 3), eine massive Schneeschmelze ein, in der sich die Schneehöhe bis Ende Mai 1999 bis auf 1 m reduzierte (Fig. 4). Zwischen Ende April und Ende Mai fielen demzufolge rund 600 – 900 l/m² Schmelzwasser an.

4.3 Quellschüttungen

Im Rutschgebiet Glöcheret existieren 16 Quellfassungen. Diese wiesen in den Jahren 1990 – 1998 einen durchschnittlichen Schüttungsertrag von 1'470 m³/Tag auf. Der Höchstwert wurde innerhalb dieser Messperiode im November 1993 mit 3'960 m³/Tag erreicht, der Tiefstwert im Februar 1993 mit 430 m³/Tag.

Der Schüttungsverlauf ist vor und nach dem Rutschereignis sehr gut dokumentiert (Fig. 5). Bei allen Quellen war von Mitte Januar bis Ende April 1999 eine stetige Ertragserhöhung von 0.5 m³/min (650 m³/Tag) auf 3.4 m³/min (4'900 m³/Tag) zu verzeichnen. Ab Anfang Mai stiegen die Quellschüttungen sprunghaft an, und erreichten am 15.5.1999 mit 12 m³/min (17'200 m³/Tag) den höchsten, je gemessenen

Wert. Am 15.5.1999 betragen die Schüttungsmengen somit rund das 8-fache des Mai-Durchschnittswertes der Jahre 1990 – 1998 resp. rund das 12-fache des langjährigen Jahresschnittswertes. Einzelne Quellen schütteten die 50- bis 100-fache Menge im Vergleich zu Januar 1999. Das Wasser "schoss" regelrecht aus den Quellen heraus, was den Brunnenmeister dazu veranlasste, zusätzliche Kontrollgänge auszuführen, da zu befürchteten war, dass die Quellfassungen den starken Wasserdrucken nicht standhalten würden. Ohne Zweifel erreichten die Porenwasserdrucke um Mitte Mai 1999 aussergewöhnlich hohe Werte.

In der Gegenüberstellung der Grafiken der Quellschüttungen (Fig. 5) mit den Lufttemperaturen (Fig. 3) und den Schneehöhen der Station Gütsch ob Andermatt (Fig. 4) kommt klar zum Ausdruck, dass der starke Anstieg der Quellschüttungen im Mai 1999 mit dem plötzlichen Einsetzen der intensiven Schneeschmelze im Hochgebirge zusammenhängt. Auch der Name des Quellgebietes "Kaltenbrunnen" legt die Vermutung nahe, dass die Quellen im Glöcheret in hohem Masse durch unterirdische Schmelzwasserzuflüsse gespeist werden. Obschon das Rutschgebiet bereits mehrere Wochen vor der Rutschauslösung schneefrei war, nahmen die Schüttungsmengen massiv zu. Das topographische Einzugsgebiet der Quellen Glöcheret ist bei weitem zu klein, um derart hohe Quellschüttungen zu liefern. Es ist daher sehr wahrscheinlich, dass ein grosser Teil der unterirdischen Fremdwasserzuflüsse aus dem jenseits des Seewliberges gelegenen Gitschital stammt.

Am 22.5.1999, also wenige Stunden oder Tage vor der Rutschauslösung, war in 15 der 16 Quellen ein deutlicher Ertragsrückgang gegenüber der Messung vom 15.5.1999 festzustellen. Das Schüttungsmaximum wurde demzufolge schon 8 – 14 Tage vor der Rutschauslösung (zwischen 23. – 30.5.1999) überschritten. Dennoch betrug die Schüttungsmenge zum Zeitpunkt der Rutschaktivierung immer noch ein Mehrfaches des langjährigen Mai-Durchschnittswertes.

4.4 Rutschursache

Als Ursache der Rutschbewegungen im Glöcheret ist die Kombination aus starken unterirdischen Fremdwasserzuflüssen infolge der intensiven Schneeschmelze *und* der ergiebigen Regenfälle von Mitte Mai 1999 anzusehen. Das wesentlich gross-

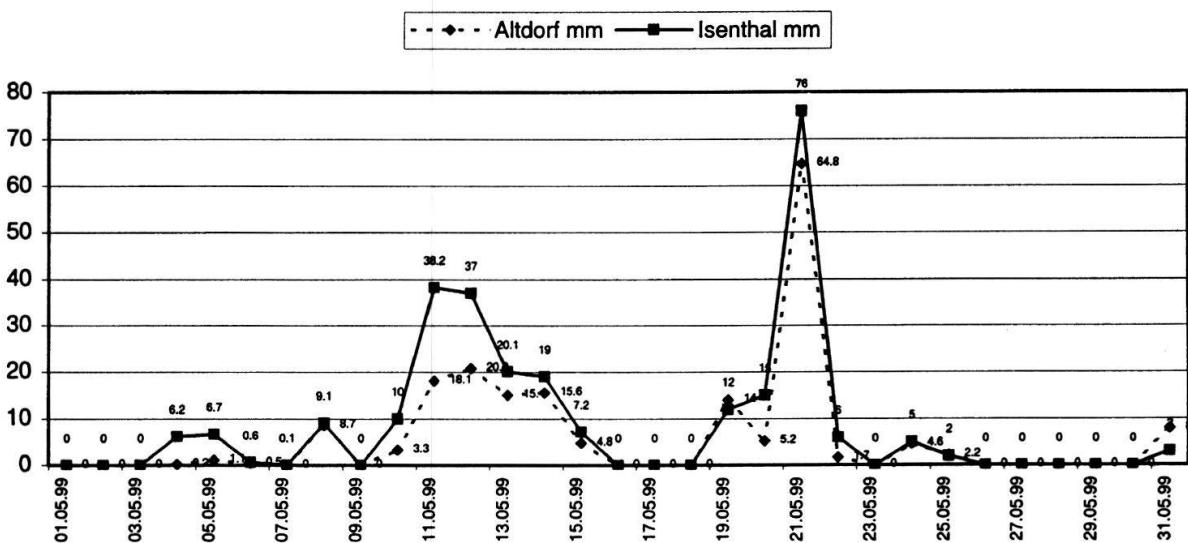


Fig. 2: Niederschlag Mai 1999 (Stationen Altdorf und Isenthal).

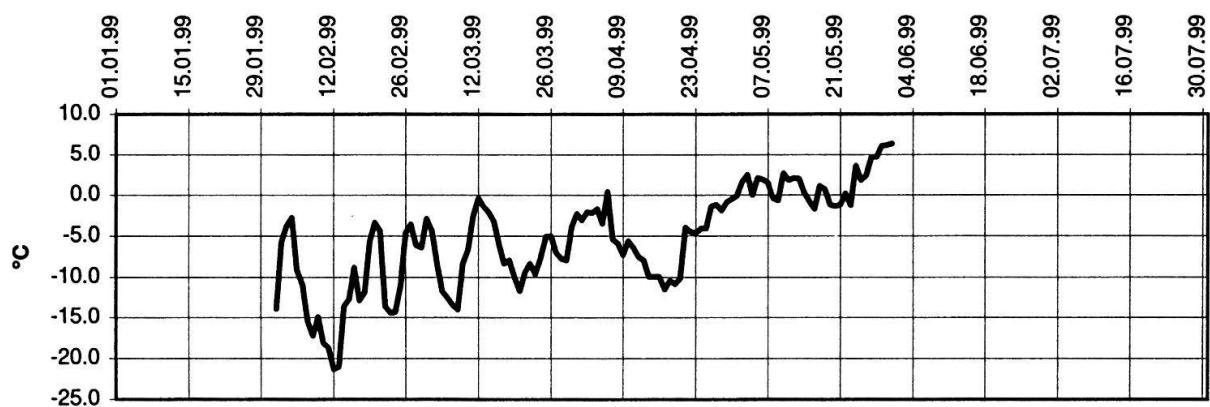


Fig. 3: Temperatur Gütsch ob Andermatt, 2'287 m ü.M., Januar – Juli 1999.

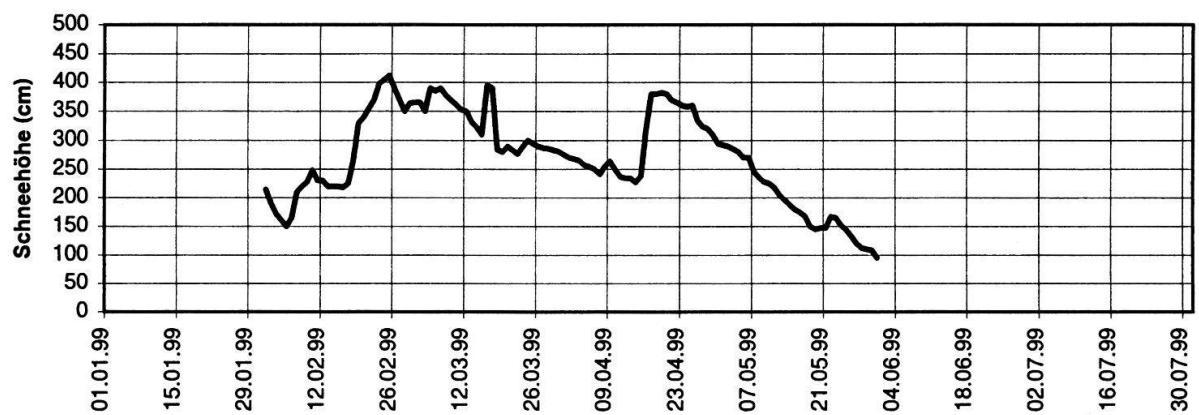


Fig. 4: Schneehöhe Gütsch ob Andermatt, 2'287 m ü.M., Januar – Juli 1999.

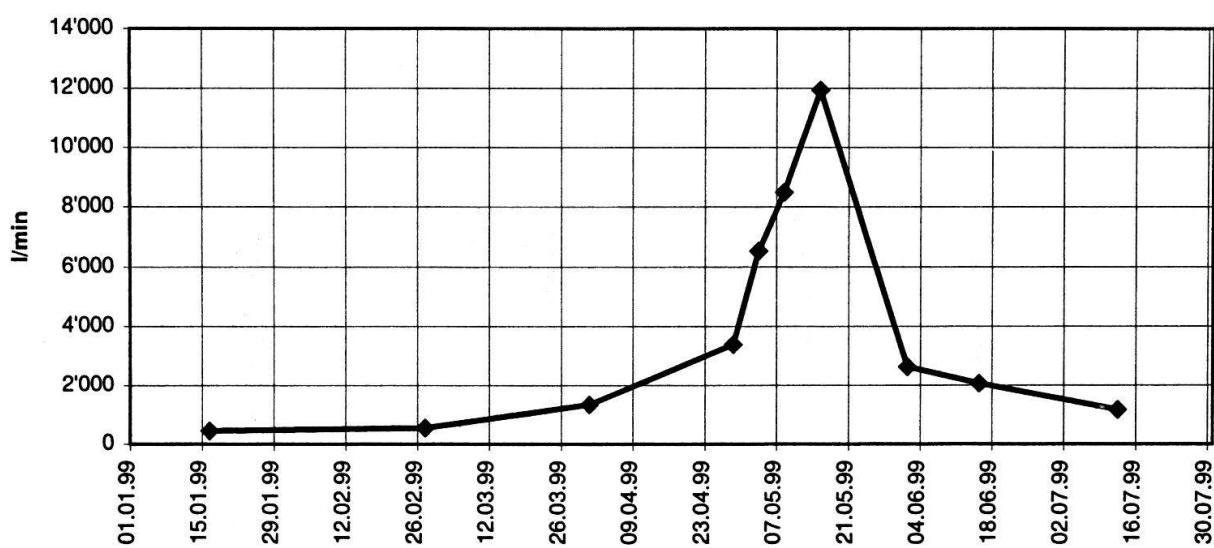


Fig. 5: Quellen Glöcheret, Gesamtschüttung Januar – Juli 1999.

flächigere Rutschereignis vom Juni 1970 und fand unter sehr ähnlichen Witterungsbedingungen statt. Der Rutschperimeter war jedoch im Mai 1999 – infolge der mittlerweile erfolgten Sanierung und Erweiterung der Quellfassungen – wesentlich geringer als im Juni 1970.

Das vermutlich durch Sandsteinklüfte unterirdisch ins Gebiet Glöcheret zufließende Schmelzwasser tritt auf der stauenden Mergeloberfläche und zum Teil auch in den bis zu 50 m mächtigen Gehängeschutt aus, wobei sich grosse Porenwasserdrucke aufbauen und die Gleitfläche(n) „geschmiert“ wird (werden).

Wie die Quellschüttungsmessungen klar aufzeigen, wurde der Rutsch etwa 10 Tage nach dem Schüttungsmaximum ausgelöst. Der hohe Schmelzwasserandrang alleine hat somit nicht ausgereicht, um die Rutschung zu aktivieren. Auch ein Starkregen oder eine langanhaltende Regenperiode alleine vermag diese grossflächigen, tiefgründigen Bewegungen nicht auszulösen. Um eine spontane Rutschbewegung in Gang zu setzen, sind neben aussergewöhnlich hohen unterirdischen Schmelzwasserzuflüssen *gleichzeitig* noch intensive Regenfälle erforderlich, welche die Rutschmasse zusätzlich von oben her bewässern.

5. Gefahrenmanagement, Massnahmen

5.1 Sofortbeurteilung

Die sofort eingeleiteten Verschiebungsmessungen und die Auswertung der Quellschüttungsmessungen ergaben, dass die Rutschscholle seit dem 31.5.1999 wieder still steht, und dass die unterirdischen Wasserzuflüsse zu diesem Zeitpunkt bereits markant nachgelassen hatten. Aufgrund der weitgehend abgeklungenen Schneeschmelze und der trockenen Wetterprognosen für Anfang Juni 1999 waren deshalb kurzfristig keine grossflächigen Reaktivierungen zu erwarten, so dass von einer Evakuierung der potentiell gefährdeten Wohnhäuser abgesehen werden konnte.

5.2 Krisenmanagement

Einberufung eines Krisenstabes mit Vertretern der Gemeinde (Gemeinderat, Feuerwehr, Zivilschutz), des Kantonsforstamtes und des Geologen; Erarbeitung eines Warn-, Alarmierungs- und Evakuationskonzeptes; offene, sachliche Information der Bevölkerung und der Medien; Einrichtung eines Infotelefons; Sperrung aller Verkehrs- und Wanderwege inner- und unterhalb des Rutschgebietes.

5.3 Gefahrenpotential

Bei hohen Hangwasserzuflüssen infolge intensiver Schneeschmelze und gleichzeitigen Starkniederschlägen ist auch künftig mit einer Reaktivierung der nicht-drainierten Bereiche der Rutschung Glöcheret zu rechnen. Dabei besteht eine erhebliche Gefährdung für den Südteil der Gemeinde Attinghausen durch Murgänge und Blockschläge.

5.4 Massnahmen

– *Überwachung der Hangbewegungen:* In dem bewaldeten Rutschgebiet ist weder eine Vermessung vom Gegenhang, noch eine Überwachung mittels GPS möglich. Auch die geodätische Vermessung sowie eine Überwachung durch Inklino-

meter wäre unter den gegebenen Voraussetzungen nicht zielführend. Aus diesem Grund werden vorerst regelmässige visuelle Kontrollen und einfache Bewegungsmessungen mit Pflöcken ausgeführt. Der Einsatz von Extensometern ist zu erwägen.

- *Quellschüttungsmessungen*: Verkürzung der Messintervalle und intensivierte Kontrollen des Rutschgebietes bei Tages-Gesamtschüttungen von $>5'000\text{ m}^3$ und/oder bei Trübungen des Quellwassers.
- *Hangdrainage*: Im Gebiet Glöcheret spielt die Fassung und Ableitung des Hangwassers erwiesenermassen eine entscheidende Rolle für die Stabilisierung der Rutschmassen. Deshalb sollen weitere Hangwasservorkommen erkundet, gefasst und abgeleitet werden.
- *Erstellen einer Gefahrenkarte*: Die Festlegung von Art, Position und Dimension der baulichen Schutzmassnahmen ist nur nach Vorlage einer Gefahrenkarte sinnvoll möglich.
- *Waldpflege*: Es ist ein gestufter Mischwald anzustreben, welcher sehr gute Eigenschaften für den oberflächennahen Wasserentzug und den Zusammenhalt der oberen Bodenschichten besitzt, und zudem eine hohe Steinschlag-Schutzwirkung gewährleistet.

6. Wichtigste Erkenntnisse

Die Bewegungen vom Mai 1999 traten am südlichen Randbereich des Rutschgebietes Glöcheret auf, in dem bisher keine Quellfassungen existieren. Demgegenüber waren in den drainierten Bereichen des Rutschperimeters von 1970 im Mai 1999 keine Verschiebungen festzustellen. Damit ist erwiesen, dass der Hangwasserentzug durch Quellfassungen die Stabilität der Rutschmasse wesentlich erhöht resp. die Wahrscheinlichkeit einer Reaktivierung entscheidend reduziert.

Die tiefgründigen Grossrutschungen von Glöcheret/UR, Sörenberg/LU und Beckenried/NW sind in der Vergangenheit schon mehrmals mehr oder weniger gleichzeitig reaktiviert worden. Besonders starke Reaktivierungen waren immer dann festzustellen, wenn die Alpenseen ausserordentlich hohe Wasserstände erreichten, sprich wenn in den vorangegangenen Wochen überdurchschnittlich hohe Schmelzwasser- und Niederschlagsmengen anfielen. Für die Auslösung mancher Grossrutschungen besteht somit zweifelsohne eine Eintretenswahrscheinlichkeit, die -neben der speziellen geologisch/hydrogeologischen Grunddispositionen- an das zufällige Zusammentreffen von aussergewöhnlichen Witterungsverhältnissen (intensive, mit ergiebigen Niederschlägen begleitete Schmelzperiode) geknüpft ist.

Hangmuren Golzern im Maderanertal (Silenen, UR)

mit 2 Figuren

URS THALI * & DANIEL BOLLINGER (Red.)**

Zusammenfassung

Am 22. Mai 1999 lösten sich auf der Nordseite des Maderanertals infolge intensiver Niederschläge und Schneeschmelze verschiedenenorts Hangmuren und flachgründige Rutschungen. Im Gebiet Golzern fuhr eine in steiler Hanglage entstandene Hangmure mit grosser Wucht in einen Weiler, wobei durch die Zerstörung eines Wohngebäudes eine Person ums Leben kam. Die Ursache dieser Hangprozesse ist zweifelsohne den ausserordentlichen Witterungsverhältnissen des Winterhalbjahres 1998/99 zuzuordnen, welche zu einer anhaltend hohen, festigkeitsmindernden Wassersättigung des Untergrundes führten. Als die Hangprozesse letztlich auslösendes Moment bedurfte es nur mehr der ergiebigen Niederschläge vom 21./22. Mai 1999.

1. Ereignisse

1.1 Ausgangssituation

Am 22. Mai 1999 ereigneten sich in der Folge intensiver Regenfälle und starker Schneeschmelze im Gebiet Golzern (Gemeinde Silenen) auf der Nordseite des Maderanertals auf einer Fläche von ca. 25 ha verschiedene Hangmuren und flachgründige Rutschungen. Die beiden grössten lösten sich ca. auf Kote 1330 – 1335 in einer Geländemulde (ca. Koord. 697'950/181'100). Sie hinterliessen Anrissnischen von bis zu ca. 40 m Breite und bis zu 3 m Tiefe. Die Hangmuren fuhren unter starker Wassersättigung über Wiesland talwärts (Gefälle ca. 30 – 35°) und trafen die östlichsten Gebäude des Weilers Silblen. Dabei wurden ein Wohnhaus und ein Stall zerstört sowie weitere Gebäude beschädigt. Im zerstörten Wohnhaus wurde eine Person getötet. Es wird davon ausgegangen, dass die Hangmure die Gebäude mit einem Druck von mindestens 45 kN/m² traf.

Ferner wurde Kulturland und ein für die Stufenwirtschaft wichtiger Verbindungs- weg auf einer Länge von rund 60 m zerstört. Die Hangmuren ergossen sich unterhalb des auf einer Terrasse gelegenen Weilers über die steile, von Felsbändern durchsetzte Talflanke und kam erst ca. auf Kote 880 im Chärstelenbach zum Stillstand. Im Gebiet Silblen lagerten sich rund 1'000 – 2'000 m³ Material ab. Insgesamt dürften indes einige 1'000 m³ Lockergestein mobilisiert worden sein.

Im Ablösegebiet traten schon in der Vergangenheit ähnliche Ereignisse auf. Aus dem Jahre 1910 sind vergleichbare Hangprozesse mit mehreren tausend Kubikme-

* Ingenieurbüro Urs Thali, Winterhalten, 6487 Göschenen

** Schneider Kellerhals + Haefeli AG, Bahnhofplatz 1a, 6370 Stans

ter mobilisierten Materials bekundet. 1940 wurde ein Gebäude im Westen des Weilers Silblen von einer Hangmure/Rutschung getroffen. 1977 ereigneten sich im Bereich der diesjährigen Hangmuren bereits Instabilitäten, welche zwischenzeitlich wieder verwachsen waren.



Fig. 1: Anrissnische einer Hangmure oberhalb des Weilers Silblen



Fig. 2: Übersicht über die Transitstrecke und den Ablagerungsraum der Hangmure am östlichen Rand des Weilers Silblen

2. Disposition

2.1 Grunddisposition: Geologisch – hydrologischer Kontext

Die Hangmuren lösten sich aus südexponierten Geländerippen oder deren Flanken, welche aus Gehängeschutt und -lehm sowie Moränenmaterial aufgebaut sind. Es handelt sich um offene Gras- und Weideflächen mit einzelnen Hecken durchsetzt.

Der im Gebiet der Anrissstellen nicht aufgeschlossene Felsuntergrund besteht aus Erstfelder-Gneis. Die darüberliegende, den Gehängeschutt liefernde Talflanke wird aus Malmkalken und Quarzporphyren gebildet.

In den Anrissnischen präsentierte sich das Lockergestein zumeist als tonig-siltiger, sandiger Kies mit Steinen und Blöcken mit Einschaltungen von tonig-siltigem Gehängelehm. Bezeichnenderweise traten die Anrisse meist in kleinen, runsenartigen Geländesenken auf, in denen Oberflächenwasser konzentriert abfließt oder in denen längs diskreter, unterirdischer Fliesswege (durchlässigere Lockergesteinszonen, Stauhorizonte) vermehrt Hangwasser zufließt. So wurden in der Anrissnische derjenigen Hangmure, welche zu den Zerstörungen in Silbien führte, an verschiedenen Stellen Hangwasseraustritte beobachtet. Das rein orografische Einzugsgebiet der Hangmuren ist meist zu klein, um die für die Entstehung des Prozesses erforderlichen Wassermengen zu liefern. Daher wird vermutet, dass den Anrisszonen durch unterirdische Zuflüsse Wasser aus anderen Hangbereichen zuströmen, wobei auch Zuflüsse aus dem Felsuntergrund nicht ganz auszuschliessen sind.

2.2 Variable Disposition und auslösendes Ereignis

Die Ursache der Hangmuren ist zweifelsohne den ausserordentlichen Witterungsverhältnissen zuzuschreiben. Die bis in den Frühsommer hinein andauernde Schmelze der überdurchschnittlich mächtigen Schneedecke in der bis knapp auf 3'200 m hinaufreichenden Flanke der Grossen Windgälle war begleitet von aussergewöhnlich ergiebigen Niederschlägen. Am Vortag der Ereignisse fielen allein in Altdorf 65 mm Regen. Sie führten zu einer anhaltenden und übermässigen Wassersättigung des Bodens. Als auslösendes, die Festigkeit des Untergrundes überschreitendes Moment bedurfte es offenbar nur mehr der Niederschläge vom 21./22. Mai 1999.

In diesem Zusammenhang könnten sich auch die Erosionsschäden durch Lawinenschurf (Lawinenniedergänge vom 23. Februar 1999) nachteilig ausgewirkt haben, da sie dem Versickern von Niederschlagswasser förderlich waren.

3. Gefahrenmanagement

3.1 Sofortmassnahmen

Infolge der Gefahr einer bergseitigen und seitlichen Ausweitung der Anrisszonen (z.B. gegen die Bergstation der Seilbahn Gölzern) sowie der daraus durch Materialabgänge resultierenden Gefährdung für darunterliegende Gebiete (Weiler Silbien) wurden folgende, zweckmässige Massnahmen in die Wege geleitet:

– *Ablagerungszone*: Da die Ablagerungen der Hangmuren beim Weiler Silbien eine natürliche Abflussrinne auffüllten, wurde das Gerinne unverzüglich ausgebaggert, um allfällige neue Materialabgänge und abfliessendes Wasser östlich des

Weilers talwärts vorbei zu lenken. Mit dem ausgebaggerten Material wurde westlich zugleich ein provisorischer Ablenkdammb geschüttet;

- *Ablagerungszone*: Schutträumung im Weiler sowie Freilegen von Wasser- und elektrischen Leitungen; Begrünung mit tiefwurzelnder Spezialsaat;
- *Anrisszone*: vorhandene Risse im Boden schliessen, Verhindern weiterer Wassereintritte in Risse; Provisorische Wiederinstandstellung des Viehtriebweges.

3.2 Weitere projektierte Massnahmen

- *Anrisszone*: Sicherung vor weiterer Erosion durch:
 - Holzkästen oder ähnliche Bauten als Hangstützwerke;
 - Abflachen der übersteilen Abrissränder;
 - Entwässerung;
 - Rekultivierung.
- *Transitgebiet*: Erosionsschutzmassnahmen an Bachsohle und Hangfuss.
- *Ablagerungsgebiet*:
 - Erweiterung und Fertigstellung des Ablenkdamms;
 - Schutz des obersten Hauses durch Erdwall und Blockmauer;
 - Rekultivierung.

Für die Massnahmen generell erschwerend wirkt sich die schlechte Zugänglichkeit des Gebietes aus. Maschinen und Gerätschaften bedingen den An- und Wegtransport mittels Helikopter. Selbst einfache Massnahmen müssen in arbeitsintensiver Handarbeit durchgeführt werden.

4. Folgerungen

Das Beispiel der Hangmuren im Gebiet des Weilers Silbien dokumentieren die Wucht selbst räumlich eng begrenzter Ereignisse an vermeintlich sicheren Stellen (Geländerippe). Auf einer Fliessstrecke von weniger als 200 m entwickelte sich eine Druckwirkung, welche zur Zerstörung und Beschädigung von Gebäuden führte. Sie zeigt, dass Hangmuren eine starke Gefährdung beinhalten und auch Menschen und Tiere an Leib und Leben gefährden können. Hangmuren bzw. die Disposition von Hangbereichen zur Entstehung solcher Prozesse bedürfen einer äusserst sorgfältigen Beurteilung, zumal Indizien aus früheren Jahren auf die potenzielle Gefährdung hinweisen können. Andererseits kann der Gefahr von Hangmuren mit geeigneten baulichen Massnahmen oft wirksam begegnet werden.

Rutschung "Bätschen", Murgänge in der Wüechtenrus (Braunwald und Rüti, GL) – Eine Grossrutschung und ihre Folgeprozesse

mit 4 Figuren

STEPHAN FRANK¹⁾ UND MARKUS ZIMMERMANN²⁾

Zusammenfassung

Ende Februar 1999 führte die Beschleunigung einer bekannten, grossen Rutschmasse zu mehreren Lockergesteinsabbrüchen über die Felswand unterhalb von Braunwald. Dadurch ausgelöste Murgänge erreichten z. T. die Linth bei Rüti. Der vorliegende Beitrag fasst die Charakteristika der Rutschprozesse und Murgänge zusammen und beleuchtet einige Aspekte des Gefahrenmanagements.

1. Einleitung

Am 28. Februar 1999 stürzten aus dem Gebiet "Bätschen" (Höhe 1200 m ü.M.) an der Terrassenkante von Braunwald mehrere kleine Lockergesteinspakete über die Felswand in die Wüechtenrus (Gemeinde Rüti). Die Abbruchaktivität nahm in den ersten Märztagen stetig zu und kulminierte am 11. März in einer raschen Sturzfolge von 20'000 bis 30'000 m³ Rutschmaterial. Daraus entwickelten sich Murgänge, die auf dem Kegel in Rüti zu erheblichen Schäden und im Dorf selbst zu einer äusserst

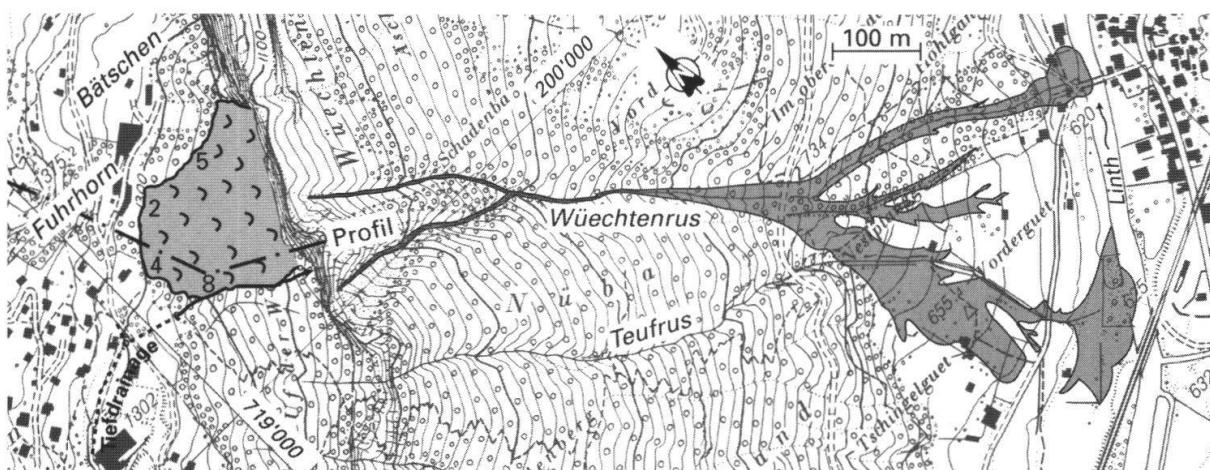


Fig. 1: Übersichtskarte mit Rutschung "Bätschen" und Murgängen in der Wüechtenrus, Entwässerungsstollen mit oberflächlicher Ableitung und Lage geologischer Schnitt (Fig. 3), reproduziert mit Bewilligung der Übersichtsplanstelle des Kt. Glarus vom 3. März 2000.

¹⁾ Dr. von Moos AG, Bachofnerstr. 5, 8037 Zürich (Bearbeiter Rutschungen)

²⁾ Geo7, Neufeldstr. 3, 3012 Bern (Bearbeiter Murgänge)



Fig. 2: Murgangablagerungen vom 11. März 1999 aus Südosten: Rechts im Bild altes, links neues Gerinne der Wüechtenrus; unten die Linth und das Dorf Rüti (Aufnahme: M. Zimmermann, 13. März 1999).

bedrohlichen Situation führten. In Braunwald waren mehrere Gebäude, Wasser- und Kanalisationsleitungen sowie ein umfangreiches Entwässerungssystem zur Stabilisierung der Gesamtrutschmasse akut gefährdet resp. erlitten Teilschäden. Insgesamt stürzten bis zum Mai 1999 ca. 100'000 m³ über die Felswand, wovon etwa 60'000 bis 80'000 m³ auf dem Kegel abgelagert wurden (Fig. 1 und 2). Der restliche Schutt blieb im Wandfußbereich und im oberen Teil der Wüechtenrus liegen bzw. wurde im Laufe der Murgangereignisse als Feinmaterial durch die Linth weggeschwemmt.

2. Grundlagen und Ereignisse 1999

2.1 Grunddisposition der Rutschung

Die Terrasse von Braunwald ist seit langer Zeit als ca. 3 – 4 km² grosses Rutschgebiet bekannt. Im unteren Teil (Kernbereich von Braunwald) beträgt die Mächtigkeit der Rutschmasse 5 bis 20 Meter, während sie hangwärts wahrscheinlich rasch auf mehrere 10 bis eventuell über 100 Meter anschwillt (Fig. 3). Das Lockermaterial besteht aus einem sehr heterogenen Gemisch von zerrütteten Felspankten (vornehmlich Kalke des Lias und Malm bis hin zu stark verlehmtten Lagen aus Schiefergesteinen des obersten Lias und basalen Doggers). Dazwischen kommen blockreiche, kantige Kiese sowie unterschiedlich tonige Silte mit Kies und Steinen vor. Eine

typische, harte Grundmoräne sowie stellenweise direkt der anstehende Fels (Quartenschiefer der Oberen Trias) bilden im Bereich "Bätschen - Dorfzentrum" die Unterlage der Rutschmasse. Durch die schon seit den Eiszeiten andauernden Bewegungen wurden die Schuttmassen in Kompartimente zerteilt, die durch stark tonige Gleitflächen begrenzt sind. Gegen die Terrassenkante hin verdichten sich diese Flächen zu einem basalen Gleithorizont, der direkt über der Grundmoräne, z.T. auch über dem anstehenden Fels liegt.

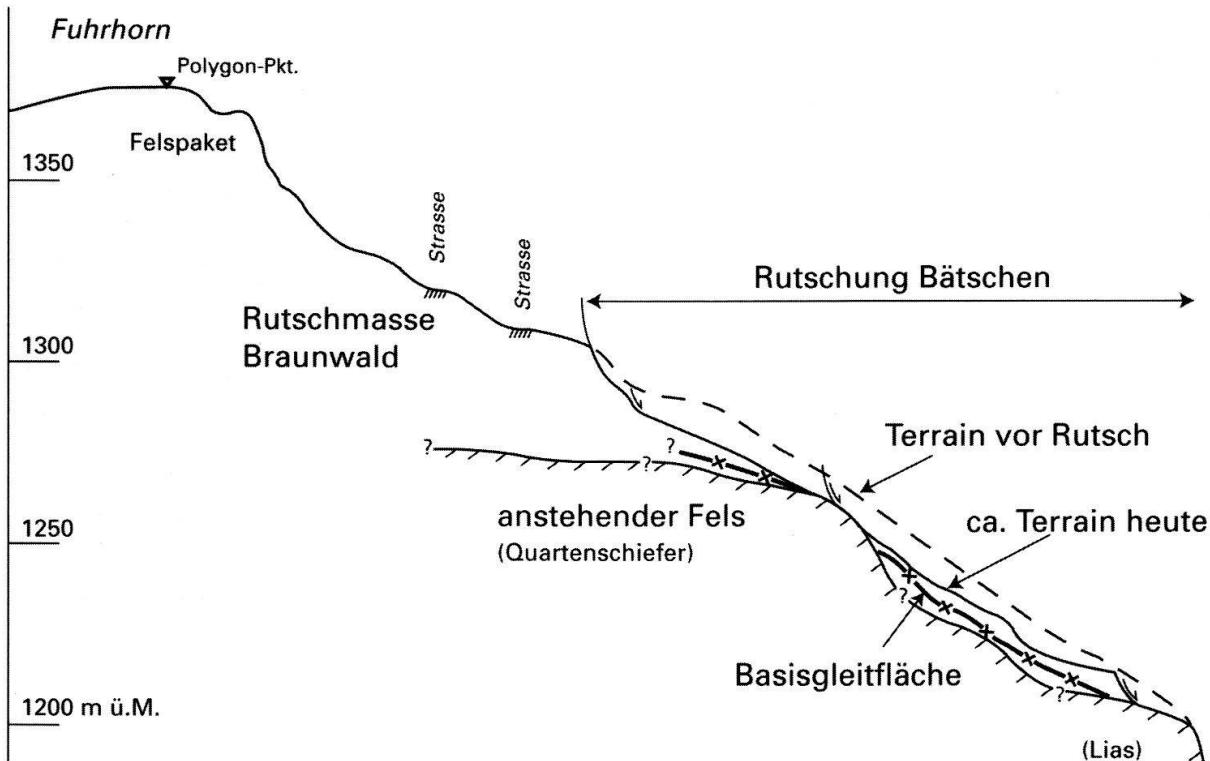


Fig. 3: Geologischer Schnitt durch das Rutschgebiet oberhalb der Felswand, nicht überhöht.

Die geschilderten geologischen Verhältnisse führen zu einer komplizierten Wasserkirculation in der Rutschmasse, was wirksame Entwässerungsmassnahmen zur Abbremsung der Bewegungen stark erschwert. Hohe Grundwasserstände und Druckniveaux in oberflächennahen Schichten können gleichzeitig mit tiefen Grundwasserspiegeln sowie geringen Wasseraustritten im Bereich der Basisgleitfläche auftreten. Im anstehenden Fels unter der Gleitfläche sind in Bohrungen dagegen häufig Wasserverluste beobachtet worden.

Nahe der Terrassenkante ergaben Langzeitmessungen vor 1999 Bewegungsgeschwindigkeiten von 5 bis 8 cm/Jahr, wobei sicher von einem schubartigen Verhalten auszugehen ist, worauf auch die Erfahrungen 1999 hinweisen. Ein Zusammenhang mit extremem Wassereintrag in den Vormonaten ist offensichtlich; einzelne Starkregenereignisse wie z. B. im Mai 1999 hatten aber keinen entscheidenden Einfluss auf die Bewegungsgeschwindigkeiten.

Der letzte "Bewegungsschub" vor dem Ereignis 1999 im fraglichen Gebiet war im November 1979 mit Rutschungen und Murgängen (einige 1000 m³) in der Teufrus oberhalb der Felswand verbunden, wobei einzelne Murgänge ebenfalls fast bis zur

Linth in Rüti vorgedrungen sind. In der Folge wurden im Frühling / Sommer 1980 an einzelnen Punkten Geschwindigkeiten von bis 50 cm/Jahr gemessen, welche auch noch im Jahre 1981 anhielten. Da eine Zerstörung von Strassen, Ferienhäusern und eines grossen Hotels befürchtet werden musste, wurde in den Jahren 1983 – 85 in direkter Nachbarschaft der Rutschung “Bätschen” ein Entwässerungssystem (Sickerpfähle mit basalem Drainagegestollen, sog. “Tiefdrainage”, Planung tbf-marti ag, Schwanden GL) erstellt, welches durch die Ereignisse 1999 wohl beschädigt wurde, aber funktionstüchtig blieb.

2.2 Ablauf der Rutschung im März 1999

Nach den ersten Kleinabbrüchen von Lockermaterial direkt über der Felswand entwickelte sich in den ersten Märztagen eine ca. 100 m breite Abbruchfront mit ständigen kleinen Stürzen von einigen 10 bis wenigen 100 m³. Das in Bewegung befindliche Volumen konnte nur grob auf 10'000 m³ geschätzt werden. Im hangwärtigen Teil war angesichts der enormen Schneehöhe von 3.5 m keine Abgrenzung der Rutschmasse möglich. Am 8. März zeigten sich knapp unterhalb eines Sägereibetriebs 150 m von der Felswand entfernt erste Risse und innerhalb eines Tages vergrösserte sich die Abbruchfront auf rund 200 m. Sowohl die Sturzaktivität wie auch die Volumen pro Einzelsturz (einige 100 bis wenige 1'000 m³) nahmen in den folgenden 2 Tagen stark zu. Eine weitere Aktivitätssteigerung erfolgte am Nachmittag des 11. März. Einfache Messungen über die obersten Anrisse hinweg ergaben Bewegungsgeschwindigkeiten von maximal 70cm/Tag (Fig.4)! Um 17.45h stürzten schliesslich innert weniger Minuten 20'000 bis 30'000 m³ Material über die Felswand, was von Beobachtern als “wie wenn ein Vorhang fällt” beschrieben wurde. In der Nacht und am 12. März erfolgten weitere grössere Abbrüche, danach nahm die Abbruchaktivität mehr oder weniger stetig ab, obwohl die Bewegungsgeschwindigkeiten im Anrissgebiet anfänglich noch 30 bis 40 cm/Tag betragen und

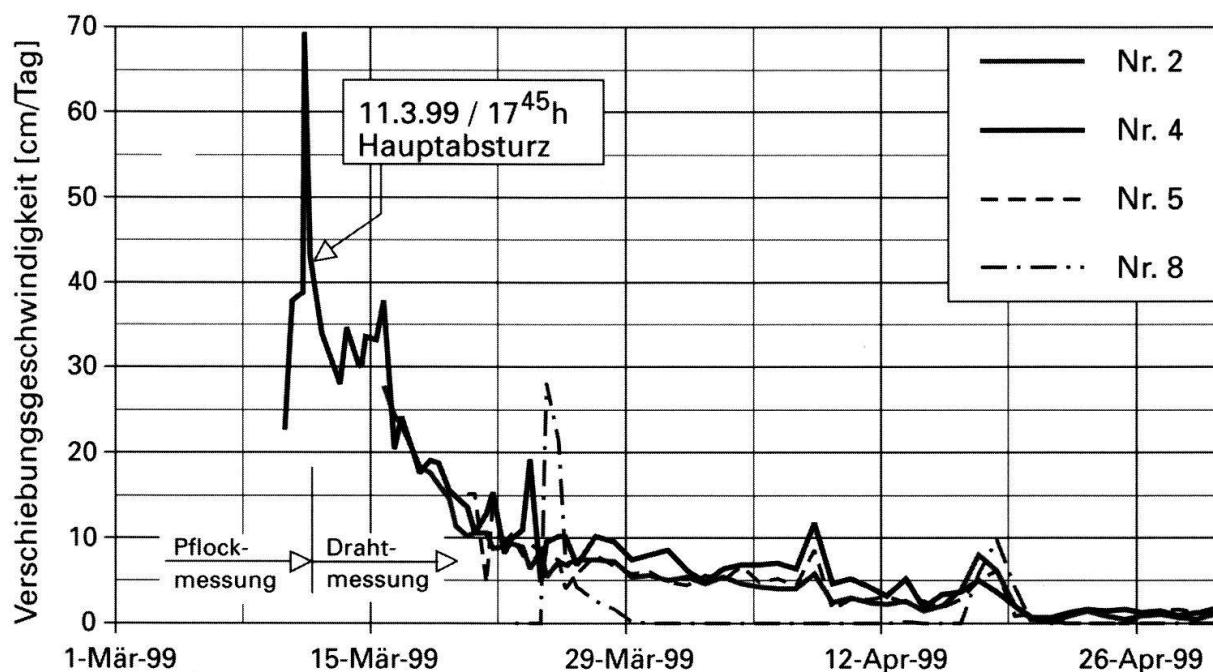


Fig. 4: Verschiebungsgeschwindigkeiten ausgewählter Punkte in der Rutschmasse “Bätschen”, Messung Nr. 4 bis zum 15.3.99 zwischen 2 Pflöcken, danach Drahtmessungen.

Ende März bei 4 bis 6 cm/Tag lagen. Erst gegen Ende April beruhigte sich die Situation allmählich.

Die Höhe des Hauptanrisses betrug schliesslich 2 bis 4 m, die Fläche (grösstenteils Wald) ca. 2.3 ha, etwa ein Viertel der Waldfläche wurde zerstört. Im nördlichen Teil hatte sich ein interner Anriss von gegen 12 m Höhe gebildet, unterhalb welchem eine grössere zusammenhängende Rutschmasse mit intakten Bäumen ob der Felswand stehen blieb.

Ausser Wald wurde ein Teil der Ableitungsrinne des Entwässerungssystems zerstört, im zugehörigen Stollen sowie im Zugangsschacht entstanden zahlreiche Risse. Auf der Nordseite des Rutsches wurde eine Meteorwasserleitung vollständig auseinandergerissen. Im übrigen blieben die Schäden, v.a. an den nur 10 bis 20 m vom Anriss entfernten Gebäuden aber erstaunlich gering (einige Risse, Klemmen von Türen etc.).

2.3 Rutschursachen

Wegen der mehr oder weniger permanenten Bewegung der gesamten Rutschmasse von Braunwald können sich in Teilbereichen an der Rutschfront oberhalb der Felswand grössere Schubspannungen zwischen den erwähnten Lockergesteinskompartimenten sowie lokale Porenwasserüberdrucke aufbauen. Ausgelöst durch extreme Wasserverhältnisse führt dies episodisch zu Spannungslösung und einer Beschleunigung der gesamten Rutschmasse; das jeweils schwächste Kompartiment kann in eine schnelle Bewegung geraten. Die Witterungsbedingungen im Herbst 1998 / Winter 1999 waren denn auch ausserordentlich: Die Monate September bis November waren alle deutlich zu nass. Nach einem frühen Wintereinbruch führten ab Ende Januar bis Ende Februar 1999 extreme Schneefälle zur einer Schneehöhe von 3.5 m im Bereich des Rutschanschlages (der Wasserwert dieser Schneemenge betrug auf 1500 m ü.M. Ende Februar 896 mm, am 15. März 1003 mm). Am 20. Februar unterbrach intensiver Regen bis gegen 1500 m ü.M. die Schneefälle. Dies wird zusammen mit der extremen Schneelast als letztlich auslösendes Moment für die Rutschung "Bätschen" angesehen. Die Fussentlastung durch die Abbrüche anfangs März bewirkte ein Rückschreiten der Bewegungsfront und führte dann zum Abgleiten der Hauptmasse.

2.4 Murgangprozesse

Die Wüechtenrus ist einer von vielen Wildbächen am Fuss der 100 m hohen Felswand von Braunwald. Die zwei Rinnen zuoberst entleeren sich normalerweise bei Gewittern mehr oder weniger regelmässig. Unten auf dem typischen Murkegel sind in den letzten Jahrzehnten die Murgänge immer dem Gerinne ganz links auf dem Kegel gefolgt (bewaldete Partie rechts auf Fig. 2) und haben die Linth bei der Brücke von Rüti erreicht.

Die kleineren Abstürze von Rutschmaterial in den ersten Märztagen und der grosse Abbruch am 11. März 1999 verursachten wesentliche Akkumulationen in den beiden Zubringern. Das Material war mit viel Schnee und Wasser durchmischt und löste durch den pulsartigen Eintrag in die bereits mit Schutt gefüllten, steilen Rinnen trotz trockener Witterung sukzessive Murgänge aus. Kleine Murgänge folgten vorerst (wie üblich) dem Originalgerinne der Wüechtenrus. Die einzelnen Ereignisse dürften nicht grösser als einige 100 bis wenige 1'000 m³ gewesen sein. An min-

destens 4 Stellen entlang der Runse stoppten einzelne Schübe und verursachten eine geringe Ausuferung. Es kam jedoch nicht zu einer wesentlichen Verlagerung aus dem Gerinne; bei der Brücke Rüti wurde die Linth gestaut.

In Folge des grossen Sturzes vom 11. März entwickelte sich ein Murgang, der in mehreren Schüben von jeweils vielen 1'000 m³ abgelaufen ist. Aufgrund des Ablagerungsbildes auf dem Kegel können mindestens 7 einzelne Schübe ausgemacht werden (vgl. Fig. 2). Ein erster Schub stoppte am Kegelhals und verstopfte das alte Gerinne der Wüechtenrus. Die nachfolgenden Schübe wurden in Richtung mittlerer Kegelteil abgeleitet und folgten vorerst dem Gerinne der Teufrus. Die meisten Schübe stoppten auf dem Kegel. Nur ein kleiner Teil erreichte den Kegelrand und die Linth. Dieses Verhalten ist typisch für grosse Murgänge.

Die übermurte Fläche beträgt etwa 4 ha mit einer mittleren Mächtigkeit von 1.5 bis 2 m. Dies ergibt ein Volumen von 60'000 bis 80'000 m³ Schutt. Zwei Heuställe wurden zerstört, ein Bauernhaus und ein Wohnhaus schwer beschädigt.

3. Verhältnisse seit Frühjahr 1999

Die Starkniederschläge an Auffahrt und Pfingsten 1999 verursachten nochmals z.T. grössere Abbrüche aus der Rutschfront; der Anrissbereich blieb jedoch praktisch ruhig. Auch nachdem die eigentliche Rutschmasse im April 1999 mehr oder weniger zur Ruhe kam, zeigten die Vermessungen (terrestrisch und GPS) im Hinterland im Sommer und Herbst verglichen mit dem langjährigen Durchschnitt nach wie vor erhöhte Bewegungsgeschwindigkeiten (8 – 13 cm/Jahr) oder sogar eine leichte Beschleunigung gegenüber dem Frühling. Auch wurden hangwärtig des Hauptanisses oberhalb eines grossen, ± zusammenhängenden Felspakets neue Risse entdeckt und der etwa 80 Meter vom Anriss entfernte Hauptschacht des Entwässerungssystems erfuhr eine zunehmende, ruckartige Kippung, welche bis heute nicht abgeschlossen scheint.

Die Murgangaktivität in der Wüechtenrus war Ende April mit dem Ausbleiben von Material aus der Rutschung Bätschen stark zurückgegangen. Die verbleibenden Akkumulationen von Rutschmaterial in den beiden Zubringerrinnen begünstigen aber nach wie vor die Entstehung von Murgängen mit Kubaturen von vielen 1'000 m³. Einzelne Murgänge (z.B. Auffahrt) und murgangähnliche Abflüsse haben im Frühjahr und Sommer 1999 in den frischen Ablagerungen auf dem Kegel ein neues, relativ stabiles Gerinne erodiert. Der ehemalige Lauf der Wüechtenrus auf der linken Seite wurde nicht mehr benutzt.

4. Gefahrenmanagement

Die Rutschung Bätschen wie auch die Murgänge in der Wüechtenrus stellten eine wesentliche Bedrohung von Häusern und wichtigen Infrastrukturanlagen in Braunwald, auf dem Murkegel und im Dorf Rüti dar. Das Krisenmanagement beinhaltete folgende Massnahmen:

- Einsetzen je eines Krisenstabs in den Gemeinden Rüti und Braunwald (unterstützt durch Teile des kantonalen Führungsstabes, kantonale Fachstellen und externe Spezialisten);

- Regelmässige Vermessung (2 x täglich, später 1x täglich) der Rutschung Bätschen mit einfachen Mitteln (Messband, Drähte);
- Sicheres Umleiten von Oberflächenwasser in stabile Gerinne resp. nahe an die Felswand, Stillegen einer gefährdeten Kanalisationsleitung;
- Fällung und Abtransport von ca. 100 Bäumen aus der aktivsten Rutschmasse;
- Visuelle Beobachtung der Anrisse und der Rutschfront von 3 Standorten aus (nachts mittels Spezialscheinwerfern und Nachtsichtgeräten);
- Freihalten der Linth bei der Mündung der Wüechtenrus mittels Baggern;
- Bereitstellen von Absperrmaterial, Sandsäcken, Pumpen etc. für den Fall einer Stauung der Linth durch einen grossen Murgang inkl. genaue Festlegung der Abflusswege;
- Einrichtung einer mobilen Telefon-Notzentrale (Ersatz der stark gefährdeten Zentrale Ennetlinth, Versorgung Glarner Hinterland);
- Vorsorgliche Evakuierung der Bewohner aus besonders exponierten Gebäuden auf dem Kegel, Evakuierung von Vieh aus 2 Ställen;
- Evakuationsplan für exponierte Gebäude auf dem Kegel und im Dorf Rüti (Überschwemmungsgefahr durch Linthstauung);
- Laufende Information der Bevölkerung zur aktuellen Lage, Herausgabe von Verhaltensanweisungen.

Die Erarbeitung von mittel- und langfristigen Massnahmen wurde bereits wenige Wochen nach der kritischen Phase in Angriff genommen.

1. Detailbeurteilung der Rutschung und Abschätzung der zukünftigen Entwicklung im Raum Bätschen sowie für die gesamte Rutschmasse von Braunwald.
2. Abwägen der Erfolgschancen von Drainagen, Möglichkeiten raumplanerischer Massnahmen, Schadenminderungskonzepte in Braunwald.
3. Simulation der Murgänge auf dem Kegel (Ausbreitungsverhalten) und Abschätzen der Möglichkeit einer Stauung der Linth.
4. Erstellen von Szenarien für die Murgänge und Entwickeln von Gefährdungsbildern für die Häuser auf dem Kegel und für das Dorf Rüti.
5. Erarbeiten eines Schutzkonzeptes für Rüti:
 - Angemessene Überwachung der Rutschung Bätschen (Vorwarnzeit);
 - Planerische Massnahmen auf dem Kegel (keine weitere Erhöhung des Schadenpotentials);
 - Bauliche Massnahmen (Leitdämme) unter maximaler Ausnützung der natürlichen Ablagerungsbedingungen der Prozesse (ein Kegel ist ein sehr effizienter Geschiebeablagerungsplatz).

5. Folgerungen

Die Rutschung “Bätschen” entstand aus einer hydrologischen Extremsituation heraus, welche Murgänge mit sehr grossem Gefahrenpotential nach sich zog. Die geologischen Verhältnisse bergen das Risiko für weitere Beschleunigungen der Rutschmasse Braunwald in sich, womit in Rüti die Gefährdung durch Murgänge bestehen bleibt. Die weiteren Abklärungen haben zum Ziel, mit Kosten-Nutzen optimierten Massnahmen den Schutz für Rüti und Braunwald zu verbessern.

Dank

Abschliessend möchten wir es nicht versäumen, den kantonalen und kommunalen Behörden für die gute und konstruktive Zusammenarbeit zu danken, welche ein effizientes Gefahrenmanagement ermöglichte. M. Liniger, Geotest AG Horw, war für die Installation der messtechnischen Überwachung verantwortlich und zweiter geologischer Berater und Mitautor des Berichtes “Erste Gefahrenbeurteilung Bätschen”.

Die Rutschung Flyalp und ihre Auswirkungen auf den Flybach (Weesen, SG)

mit 4 Figuren

SERENA LIENER*

Zusammenfassung

Am 23. Mai 1999 ereignete sich auf der Alp Flywald, oberhalb dem Dorf Weesen (SG), eine Rutschung von ca. 84'000 m³. Grosse Teile der Rutschmassen gelangten in den Renzletonbach und von dort in den Flybach. Durch mehrere Murgänge sowie durch hohen Geschiebetransport wurde viel Material bis zum dicht besiedelten Kegel des Flybaches transportiert. Im flachen Kegelbereich kam es infolge der reduzierten Transportkapazität wiederholt zu Geschiebeablagerungen im Gerinne, was zum Ausbruch des Flybaches führte. Dabei wurden mehrere Häuser mit Schlamm und Geschiebe überführt.

1. Ereignis

1.1 Witterungsverlauf

Vom 20. – 22. Mai 1999 fielen in Weesen insgesamt 205 mm Niederschlag. Dabei wurde am 21. Mai mit 160 mm Niederschlag der höchste Tagesniederschlag seit Messbeginn (1881) registriert. Diese grossen Niederschläge führten zusammen mit der bereits erfolgten Schneeschmelze zu einer extrem hohen Wassersättigung im ganzen Einzugsgebiet und zum Ablösen der Rutschung auf der Alp Flywald.

1.2 Ereignisbeschreibung

Am 23. Mai 1999 hat sich auf der Alp Flywald eine grosse Rutschung von ca. 84'000 m³ abgelöst und ist in den Renzletonbach gelangt (Fig. 1 und Fig. 2). Grosse Materialmengen sind direkt unterhalb der Alp Flywald oberhalb einem Waldstück liegen geblieben. Das aus dem Rutschkanriss fliessende Wasser ist am östlichen Rand im Gerinne des Renzletonbaches abgeflossen. Am westlichen Rand der Rutschung hat sich ebenfalls ein Gerinne gebildet, das neben dem bereits erwähnten Waldstück verlief und in den Renzletonbach mündete. Die Rutschung hat einen Murgang ausgelöst, der die Wohnzonen von Weesen nicht erreicht hat. Der Murgang muss sehr dünnflüssig gewesen sein, da die Bäume auf beiden Seiten des Renzletonbaches bis 10 Meter hoch mit Schlamm verspritzt waren. Auf dem Kegel führte der Flybach viel Wasser und Geschiebe mit sich. Im Lauf des Tages nahm die Wassermenge ab und es kam infolge der reduzierten Transportkapazität zu Ablagerungen im Gerinne.

* Geotest AG, Birkenweg 15, 3052 Zollikofen



Fig. 1: Überblick über das Einzugsgebiet des Flybaches (Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie, JA002100).

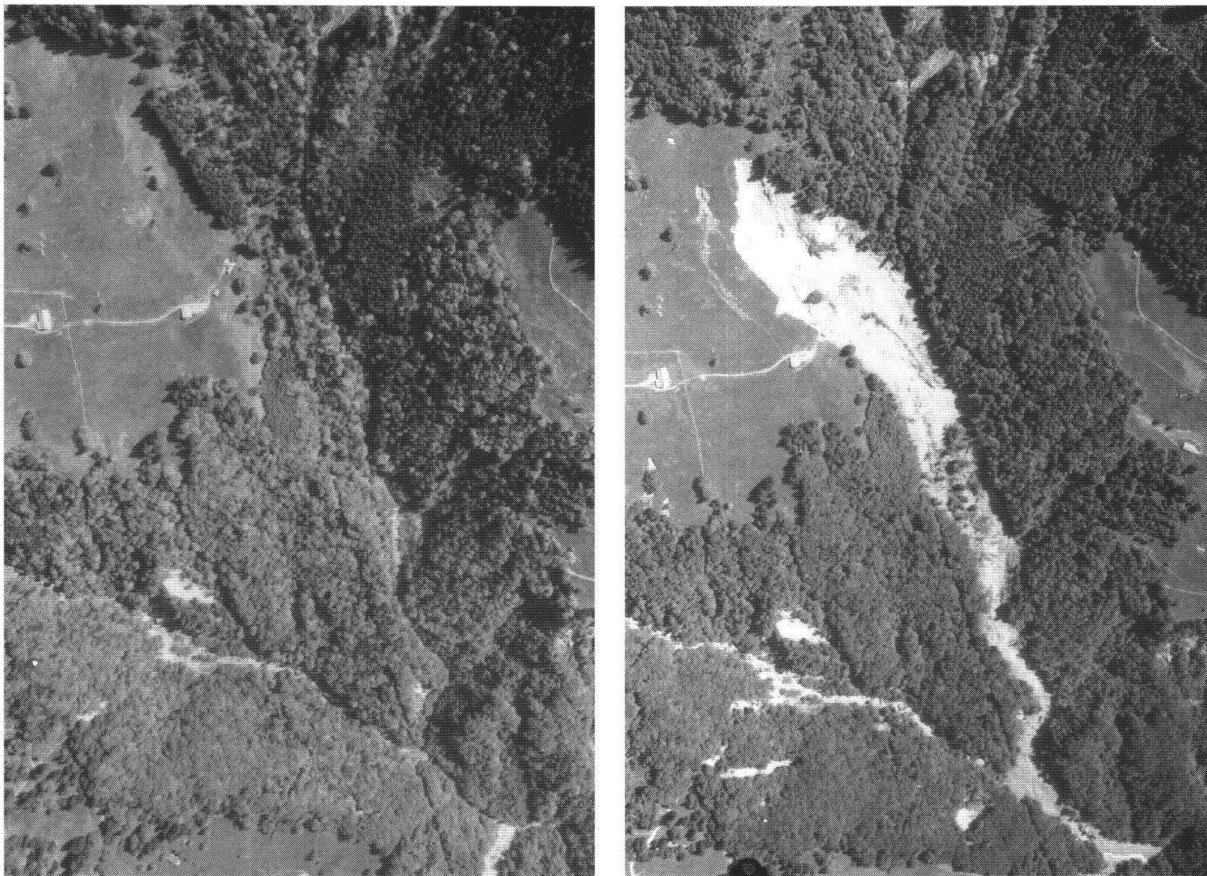


Fig. 2: Luftbilder der Alp Flywald: Bild links vom 15.5.1998, Bild rechts vom 1.6.1999.

Am 24. Mai 1999 (ca. 9 Uhr) rutschte eine grosse Masse aus dem Renzleten- in den Flybach ab und es erfolgte ein weiterer Murgang, der sich im Gebiet Cholgrueb dickflüssig und mit relativ geringer Geschwindigkeit (ähnlich wie ein Lavastrom) talwärts bewegte. Durch diesen Murgang wurde das gepflasterte Gerinne auf dem Kegel auf der ganzen Länge aufgefüllt und der Flybach trat teilweise über die Ufer.

Später am 24. Mai 1999 (ca. 14 Uhr) gelangte ein weiterer Geschiebestoss bis auf den Kegel, trat infolge des aufgefüllten Gerinnes über die Ufer und überführte drei Häuser mit Geröll und Schlamm.

Am 25. Mai 1999 nahmen der Abfluss und die Geschiebezufuhr langsam ab und die Situation beruhigte sich wieder. Im Verlauf des Sommers wurde nach jedem grösseren Niederschlagsereignis Material aus den Geschiebeablagerungen im Flybach erodiert und bis auf den Kegel transportiert.

Im Verlauf des Sommers führt der Flybach nach jedem grösseren Niederschlagsereignis viele Feststoffe mit sich und es kam im Kegelbereich regelmässig zu Geschiebeablagerungen im Gerinne, die ausgebaggert werden mussten.

Fig. 3 zeigt die photogrammetrisch und im Feld bestimmten Erosions- und Ablagerungsgebiete der Rutschung Flyalp und des Renzletenbaches. Insgesamt wurden durch die Rutschung und den daraus entstandenen Murgängen $150'000 \text{ m}^3$ Material aus den Einhängen und dem Gerinne des Renzletenbaches erodiert. Davon gelangte mit ca. $70'000 \text{ m}^3$ knapp die Hälfte bis in den Flybach und der Rest wurde im

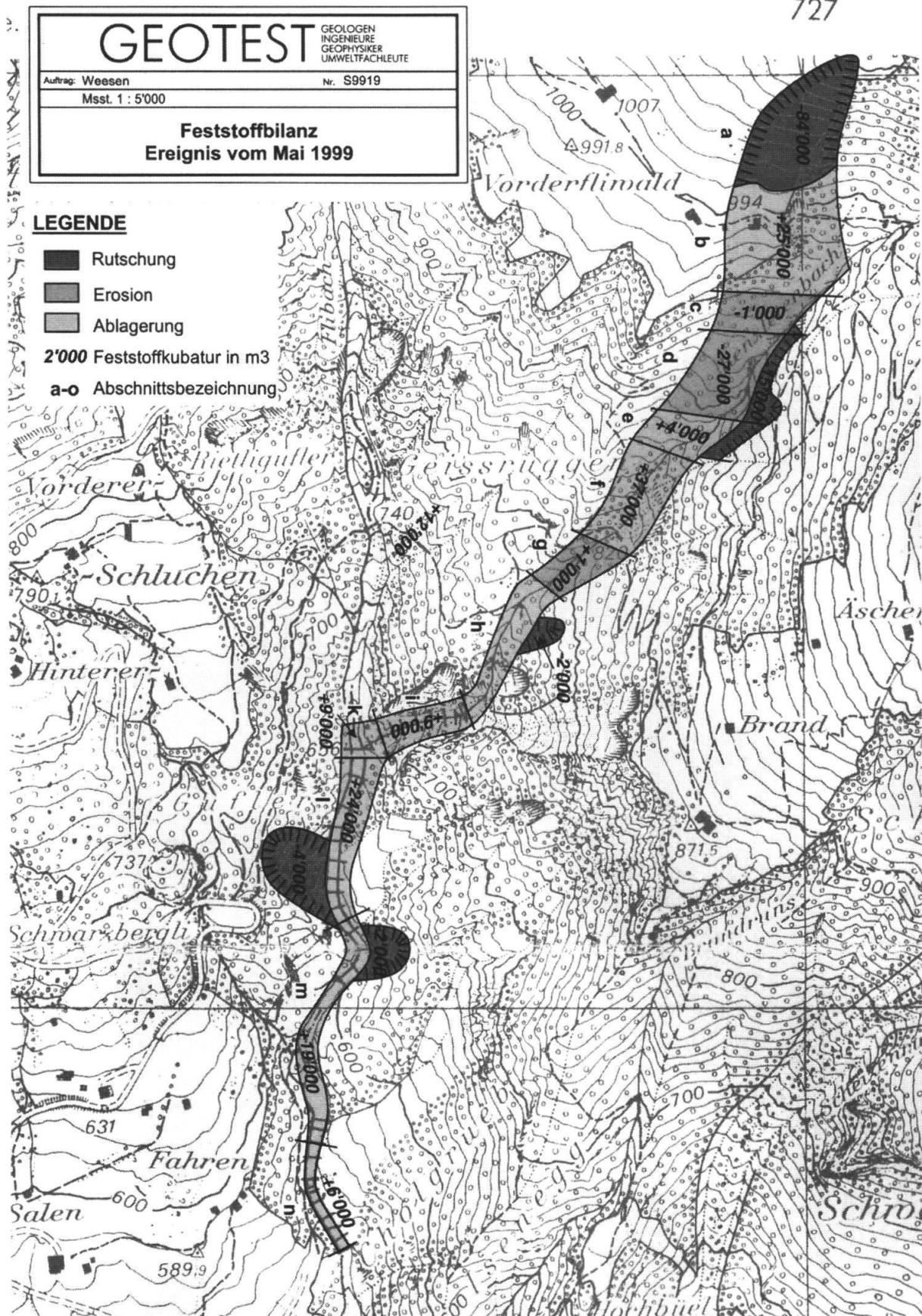


Fig. 3: Erosions- und Ablagerungsräume im Renzlethen- und Flybach.

Renzleitenbach wieder abgelagert. Bis auf den Kegel wurden 20'000 – 30'000 m³ Material transportiert, wovon 10'000 m³ aus dem Gerinne ausgebaggert wurden. Die restlichen 10'000 – 20'000 m³ Feststoffe wurden direkt in den See verlagert. Bis im Herbst 1999 wurden weitere 15'000 m³ Material aus dem Gerinne im Kegelbereich ausgebaggert.

1.3 Schäden

Durch das Rutschereignis und die Folgeprozesse entstanden auf der Alp Flywald und im Siedlungsgebiet von Weesen diverse Schäden: Durch die Rutschung wurden auf der Alp Flywald eine Alphütte und zwei Nebengebäude mitgerissen und zerstört (Fig. 4). Im Renzleitenbach zerstörte ein Murgang mehrere Sperren. Infolge des hohen Geschiebeintrages im Kegelbereich des Flybaches wurde das Gerinne mit Geschiebe aufgefüllt und der Bach trat über die Ufer. Da zudem die Gefahr eines grösseren Murganges bestand, mussten rund 400 Einwohner aus 100 Wohnhäusern evakuiert werden. Obwohl pausenlos mehrere Bagger und Lastwagen im Einsatz waren und Geschiebe wegtransportierten, wurden 3 evakuierte Wohnhäuser von Geröll und Schlamm überführt und dabei stark beschädigt. Die Strasse nach Amden musste zeitweise gesperrt werden.

2. Disposition

2.1 Grunddisposition

Der obere und westliche Teil des Einzugsgebietes des Flybaches liegt grösstenteils in der subalpinen Molasse (kalkhaltige Molasse-Nagelfluh) während der östliche Teil zu den Randzonen der helvetischen Decken (Flysch) gehört. Der Mittel- und Unterlauf des Flybaches verläuft in der subalpinen Flyschzone, die westlich vom Flybach durch Bergsturzmaterial der Speernagelfluh überdeckt ist. Auf der linken Talseite, im oberen Teil des Renzleitenbaches, werden die Mergellagen von Kreidekalkformationen der Säntisdecken überlagert. Unterhalb des Mattstockes bildeten sich ausgedehnte Gehängeschutthalden. Im unteren Teil hat sich der Renzleitenbach tief in den Globigerinenmergel eingefressen und bewirkt ein dauerndes Nachrutschen der Hänge, die teilweise mit Moränen und Gehängeschutt bedeckt sind.

Die Rutschung Alp Flywald ist in einer mächtigen Moränenablagerung aufgetreten, wo keine früheren Rutschereignisse bekannt sind. Die Moränen stammen vom Rheingletscher und bilden relativ stabile Geländeterrassen aus, welche durch Alpwirtschaft genutzt werden.

2.2 Variable Disposition

Im Einzugsgebiet des Flybaches sind regelmässig, meistens nach längeren Niederschlagsereignissen, Rutschereignisse aufgetreten. Das letzte grössere Rutschereignis von 1965 hat sich beispielsweise analog zur Rutschung Alp Flywald nach einem sehr hohen Tagesniederschlag ereignet.

Ein zusätzlicher Wassereintrag ist zudem aus den stark durchlässigen Kreideformationen im oberen Teil des Renzleitenbaches möglich. Der Renzleitenbach weist



Fig. 4: Zerstörte Alphütte der Alp Flywald (Bild Ch. Hegg).

oberhalb von 1'200 m ü. M. nur ein kleines Gerinne auf, was darauf hindeutet, dass im Gebiet Oberfurgglen Wasser im durchlässigen Untergrund versickert. Dieses unterirdische Wasser kann insbesondere während der Schneeschmelze oder bei langandauernden Niederschlägen zum Auslösen einer Rutschung beitragen.

3. Gefahrenmanagement

3.1 Gefahrenpotenzial beim Ereignis von 1999

Durch das Rutschereignis Flywald von 1999 entstand im Raum der Alp Flywald lokal die Gefahr von weiteren Geländebewegungen durch Nachrutschungen. Dadurch war bei der Alp Flywald eine Alphütte sowie Weideland gefährdet. Da die Rutschung Flywald grosse Mengen Feststoffe erodiert und im Renzleton- und Flybach abgelagert hat, bestand zudem die Gefahr von grösseren Murgängen im Renzleton- und im Flybach. Durch grosse Feststoffeinträge aus dem Renzletonbach in den Flybach war auch ein Aufstauen des Flybaches möglich. Aufgrund des Ereigniskatasters musste davon ausgegangen werden, dass unter den gegebenen Umständen grössere Murgänge den relativ dicht besiedelten Flybachkegel erreichen können. Deshalb bestand die Gefahr, dass das Gerinne verstopfen, der Bach über die Ufer treten und im besiedelten Kegelbereich grossflächige Übersarungen auftreten können. Die gerinnenahen Häuser waren dabei durch Murgänge und Geschiebeablagerungen stark gefährdet.

3.2 Sofortmassnahmen

Infolge der Rutschung Flywald und der hohen Feststofffrachten im Flybach wurde das Gerinne im Kegelbereich ständig ausgebaggert, damit möglichst viele Feststoffe in den See gelangen konnten. Weiter wurden am Flybach Überwachungsposten eingerichtet und die Bevölkerung im engeren Gebiet des Flybaches in Evakuierungsbereitschaft gesetzt. Am 23. Mai 1999 stieg die Murganggefahr an und die Bevölkerung im engeren Gebiet des Flybaches wurde aufgefordert die Häuser zu verlassen. Die Strasse nach Amden wurde gesperrt und nur für Konvois geöffnet.

Am 24. Mai 1999 mussten weitere Gebiete evakuiert werden, obwohl im Kegelbereich ständig 6 Bagger und 14 Lastwagen im Einsatz standen. Dank dem guten Wetter stabilisierte sich die Situation am Abend des 24. Mai wieder. Die ersten Evakuierungen konnten bereits am Abend aufgehoben werden. Am 25. Mai konnte die Evakuierung für die meisten Gebiete aufgehoben werden.

3.3 Beobachtungen, weitere Massnahmen

Es wurden folgende weitere Massnahmen und Beobachtungen angeordnet:

- Geodätische Distanzmessung zur Überwachung des Rutschgebietes;
- Erstellen eines Wassergrabens entlang des Ostrandes des abgerutschten Gebietes;
- Neuorganisation der Überwachung;
- Sicherzustellen des kurzfristigen Wiedereinsatzes von Baumaschinen;
- Ausbaggern des Gerinnes im besiedelten Gebiet und Freilegen des Bachlaufes in der Chohlgrueb.

Um die weitere Gefährdung abzuschätzen und um längerfristige Massnahmen zu planen, wurde eine Ereignisanalyse und eine Gefahrenbeurteilung durchgeführt. Geprüft werden zudem weitere Massnahmen wie die Schaffung eines Rückhaltebeckens im Raum Mietsack.

4. Folgerungen

Der Ereigniskataster zeigt, dass im Flybacheinzugsgebiet etwa alle 40 – 50 Jahre grössere Rutschereignisse auftreten und zu Murgängen oder starkem Geschiebeträub im Flybach führen. Das Ereignis vom Mai 1999 ist aber insofern speziell, als die Rutschung Flywald in einem eher stabilen Gebiet aufgetreten ist. Um solche mächtigen Lockermaterialablagerungen zu sättigen, wie es 1999 geschehen ist, ist ein grosser Wasserinput notwendig. Mit ähnlichen Ereignissen muss aber an anderen Stellen im Einzugsgebiet des Flybaches jederzeit wieder gerechnet werden.

Felsrutschung Wintersberg (Ebnat-Kappel, SG)

mit 3 Figuren

PETER KLEBOTH *

Zusammenfassung

Im Gebiet des Wintersbergs (Gemeinde Ebnat-Kappel, SG) weist ein 21 ha grosser Hang eine Kriechbewegung auf. Die aus Molassegesteinen bestehende Rutschung ist bis zu 90 m mächtig und umfasst ein Gesteinsvolumen von über 10 Mio. m³. Die Hangbewegungen verliefen bis heute ohne grössere Schäden. Die hohen Niederschlagsmengen im Winter und Frühjahr 1999 führten allerdings zu einer Verdoppelung der langjährigen mittleren Rutschgeschwindigkeit von etwa 1 cm/Jahr. Als Ursache wird ein Anstieg des Hangwasserspiegels im stark geklüfteten und verkarsteten Fels über das bisher bekannte Niveau vermutet.

1. Ausgangslage

Im Jahre 1986 ist man im Rahmen einer geodätischen Neuvermessung des Gebietes Wintersberg (Gemeinde Ebnat-Kappel) auf Unstimmigkeiten bei der Lage von zahlreichen Messpunkten gestossen. Innerhalb eines klar umgrenzten Hangstreifens mit einer Fläche von rund 21 ha haben sich alle Messpunkte seit der letzten Messung in den 40er Jahren um etwa 40 cm talwärts verschoben. Geologische und morphologische Felduntersuchungen zeigten, dass eine Hangpartie zwischen 870 und 1070 m ü.M. mit oberflächennah anstehender Molasse abrutscht. Der hangseitige Anriss ist im Gelände auf 1070 m ü.M. deutlich als ein im Hangstreichen verlaufendes Nackentälchen von einigen Metern Tiefe erkennbar (Fig. 1).

Aufgrund der der Gleitfläche in einer Tiefe von maximal etwa 90 m und der langsam, bis 1999 relativ gleichmässigen Rutschbewegung (im Mittel etwa 1 cm/Jahr im Zeitraum 1988 bis 1998) handelt es sich um eine langsame, tiefgründige Felsrutschung. 1999 wurde eine markante Zunahme der Rutschgeschwindigkeit auf rund 2 cm/Jahr registriert.

Insgesamt weist der mehr oder weniger als zusammenhängendes Paket abrutschende Sedimentstapel ein Volumen zwischen 10 und 15 Mio. m³ auf.

Grössere, auf die Hangbewegung zurückzuführende Schäden sind bis heute ausge-

* Geotest AG, Dufourstrasse 32, 8008 Zürich

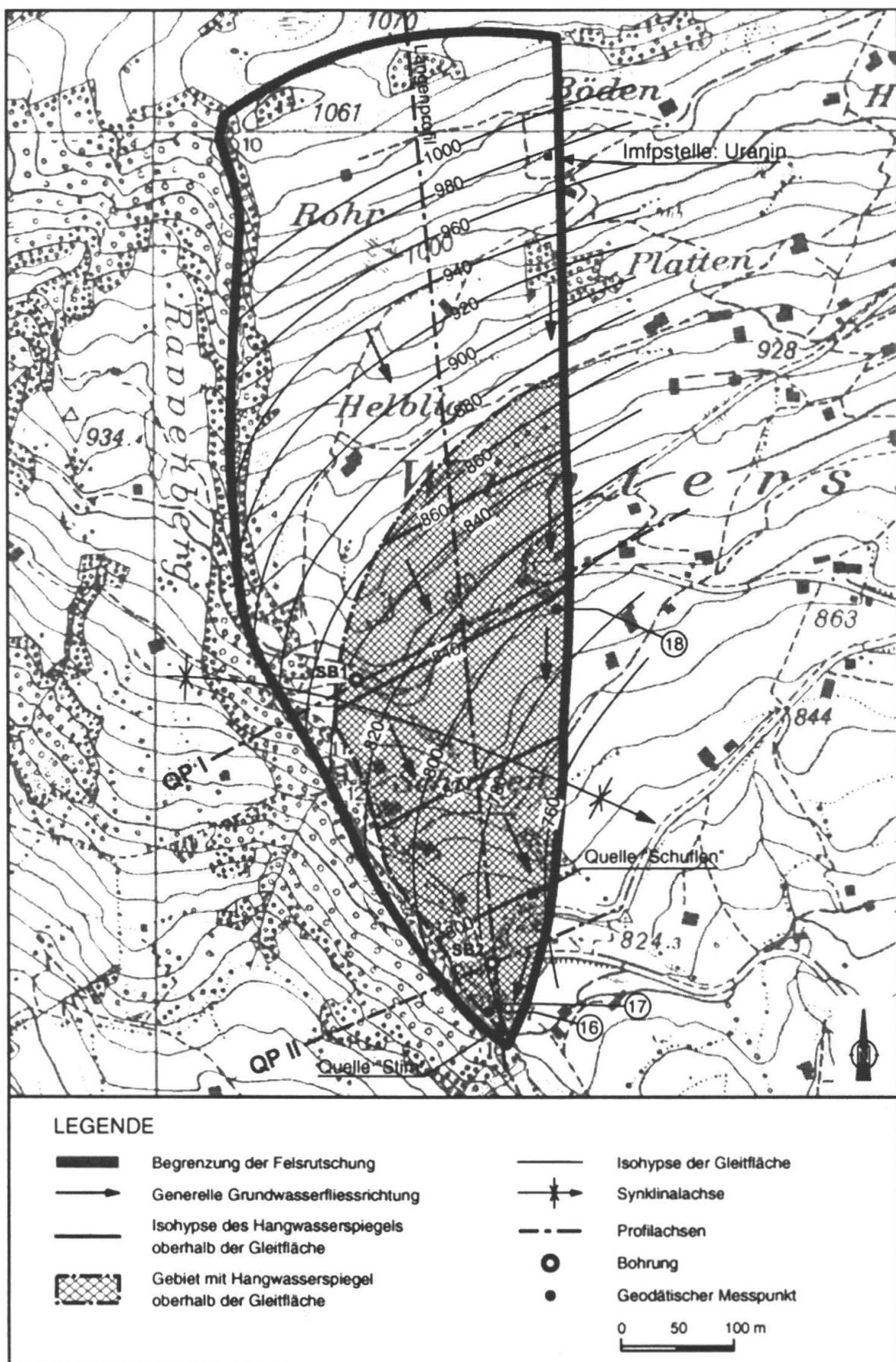


Fig. 1: Rutschgebiet Wintersberg mit Isohypsen der Gleitfläche und des Hangwasserspiegels.

blieben, da die zahlreichen Bauten (Wohnhäuser, Ställe und Schulhaus von Wintersberg) auf dem Rutschkörper dank dem uniformen Bewegungsablauf keinen differenziellen Bewegungen ausgesetzt sind. Einzig an einem direkt auf der östlichen Begrenzungslinie der Rutschung situierten Wohnhaus mit angebauter Garage sind Schäden erkennbar. Da der seitliche Bruchrand jedoch genau zwischen Wohnhaus und Garage durchzieht und zudem die beiden Gebäude Teile abgezogen sind, hält sich der Schaden in Grenzen. Des Weiteren treten episodisch Erdfälle mit einem Durchmesser von einigen Dezimetern entlang der Ostbegrenzung auf, welche von Mal zu Mal wieder verfüllt werden.

2. Geologische und hydrologische Situation

Der Felsuntergrund im Rutschgebiet wird von den sogenannten Wintersberg-Schichten (Untere Süßwassermolasse) gebildet. Diese erreichen eine Gesamtstärke von rund 700 m und bestehen vorwiegend aus 10 und mehr Meter mächtigen Kalknagelfluhbänken, unterbrochen von Silt- und Sandsteinlagen sowie sandigen, mitunter auch kohlig-bituminösen oder tonigen Mergeln. Eine dieser tonig ausgebildeten Mergellagen wirkt als Gleithorizont (Fig. 3).

Die Schichten weisen im Gebiet von Wintersberg eine Muldenstruktur auf (Gygenbach-Synklinale) mit einer in Richtung Ost einfallenden Achse. Diese Synklinalachse quert den Rutschkörper im unteren Drittel (Fig. 1). Als Folge der flachen Muldenstruktur dreht das Fallazimut hangabwärts im Gegenuhrzeigersinn um etwa 70°. Diese Schichtumbiegung ist aus dem Isohypsenplan der Gleitfläche in Fig. 1 ersichtlich.

Während der Aufrichtung und Verbiegung der Molasse im Zuge der Alpenbildung wurden diese sich vorwiegend spröd verhaltenden Schichten zerbrochen. Im Feld können mehrere steil stehende Kluftsysteme unterschieden werden, deren wichtigsten drei nach WSW, W und WNW einfallen. Die östliche und hangseitige Begrenzung der Rutschmasse korrespondiert mit diesem Trennflächensystem.

Bezüglich ihrer Verteilungsdichte sind die Kluftsysteme als mittel- bis weitständig zu bezeichnen (Kluftabstände im dm- bis m-Bereich). Nach den Beobachtungen an der westlichen Steilwand erstrecken sich die Klüfte über mehrere Zehner, möglicherweise sogar Hunderte von Metern und können als eigentliche Spalten mit Öffnungsweiten von mehreren Zentimetern ausgebildet sein.

Wegen der geringmächtigen, lokal auch fehlenden Deckschicht und der guten Wasserwegsamkeit des Felsuntergrundes fehlen jegliche Oberflächengewässer. Das Sickerwasser tritt im westlichen Steilabfall resp. im Stirnbereich in perennierenden oder intermittierenden Quellen zu Tage.

Die Lage des Grundwasserspiegels ist in den beiden Querprofilen in Fig. 2 eingezeichnet. Die Spiegelschwankungen sind mit etwa 6 m im unteren und mit etwa 4 m im oberen Teil des Rutschkörpers recht gross. Rasch wechselnde Spiegellagen und Quellschüttungen belegen die hohe Gebirgsdurchlässigkeit. Sie wurde überdies auch durch Markierversuche belegt, die im gesättigten Felsbereich maximale Fließgeschwindigkeiten von bis 21 m pro Stunde ergaben.

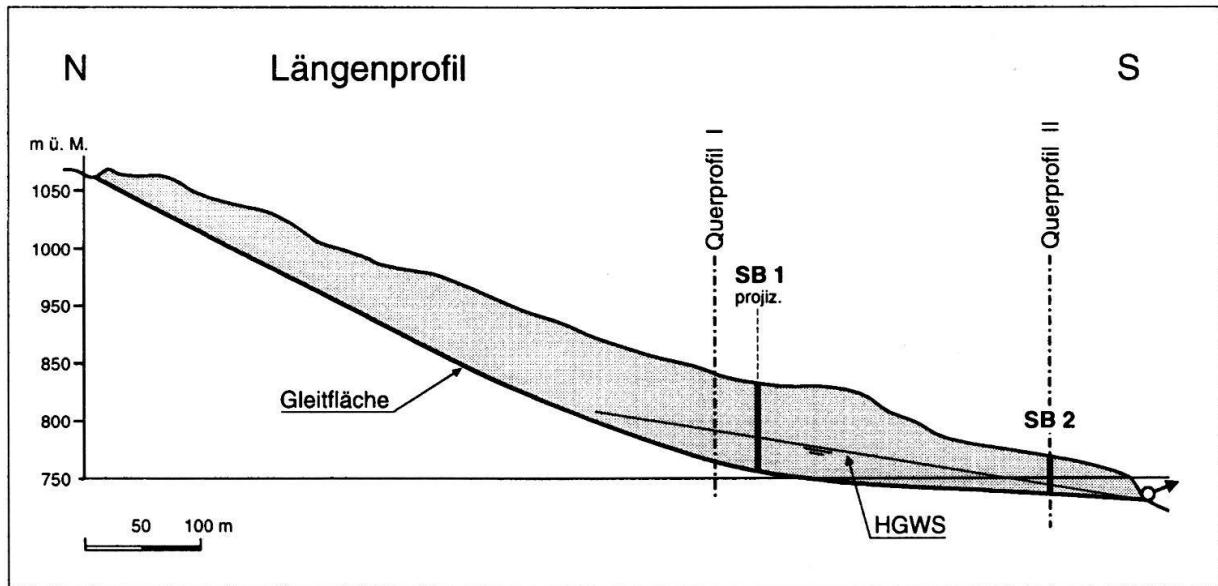


Fig. 2: Schematisches Längenprofil mit Lage des Hangwasserspiegels.

3. Bewegungsablauf, Ursache der Hanginstabilität

Die Hangbewegung wird durch das Zusammenspiel von treibenden und rückhaltenden Kräften gesteuert. Als treibende Kräfte wirken die parallel zur Gleitfläche verlaufenden Gewichtskomponenten der Überlagerung und der Strömungsdruck; die rückhaltenden Kräfte setzen sich aus dem Reibungswiderstand sowie einer allfälligen Unebenheit der Gleitfläche und/oder Rauigkeit der Seitenbegrenzung zusammen.

Unter der Annahme, dass der Winkel der Restscherfestigkeit der Gleitfläche deutlich unter 25° liegt, ist – von der Geometrie der Gleitfläche ausgehend – der obere Hangbereich als abschiebender Teil (Fallwinkel $> 25^\circ$) und der untere Hangbereich (Fallwinkel wenige Grade) als rückhaltender Teil zu betrachten. Aus Rückrechnungen resultiert bei einer Sicherheit F zwischen 0.95 und 1.0 ein Winkel der Gesamtscherfestigkeit von 18° bis 19° , was etwa dem Pauschalgefälle der Gleitfläche entspricht. Daraus wird abgeleitet, dass die Kohäsion und/oder die Rauigkeit als rückhaltende Kräfte von eher untergeordneter Bedeutung sind.

Eine ungünstige Wirkung auf die Stabilität des Hanges hat das Grundwasser, indem der vorhandene Strömungsdruck und der Auftrieb im unteren Teil der Rutschung eine Verminderung der rückhaltenden Kräfte bewirken.

Die Stabilitätsberechnungen zeigen weiter, dass bei einem hohen Hangwasserspiegel die Sicherheit F um 5 bis 8% gegenüber einer tiefen Lage reduziert wird.

Aus Fig. 4 ist der Bewegungsablauf an 3 Messstellen ersichtlich. Zwei der Messpunkte (Nr. 16 und Nr. 17) sind im Stirnbereich und der dritte Punkt (Nr. 18) nahe der östlichen Begrenzung, etwa in der Mitte des Rutschkörpers situiert. Die Darstellung zeigt die deutliche Zunahme der Rutschgeschwindigkeit im Jahre 1999 und die etwas grössere Rutschgeschwindigkeit im Stirnbereich. Hier brechen episodisch Felsschollen von bis zu mehreren 100 m^3 Grösse ab. Am Fusse des Steilabfal-

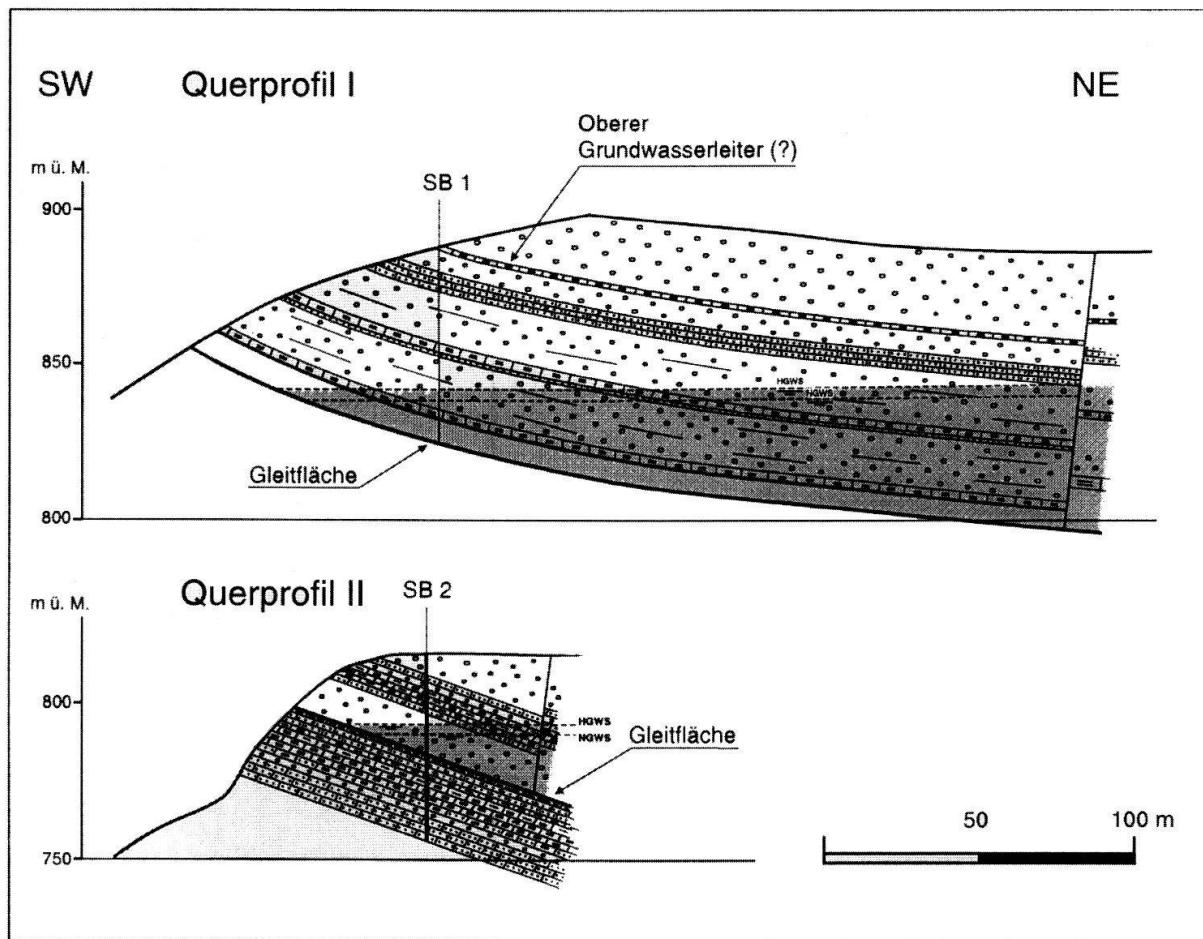


Fig. 3: Schematische Querprofile durch die Felsrutschung.

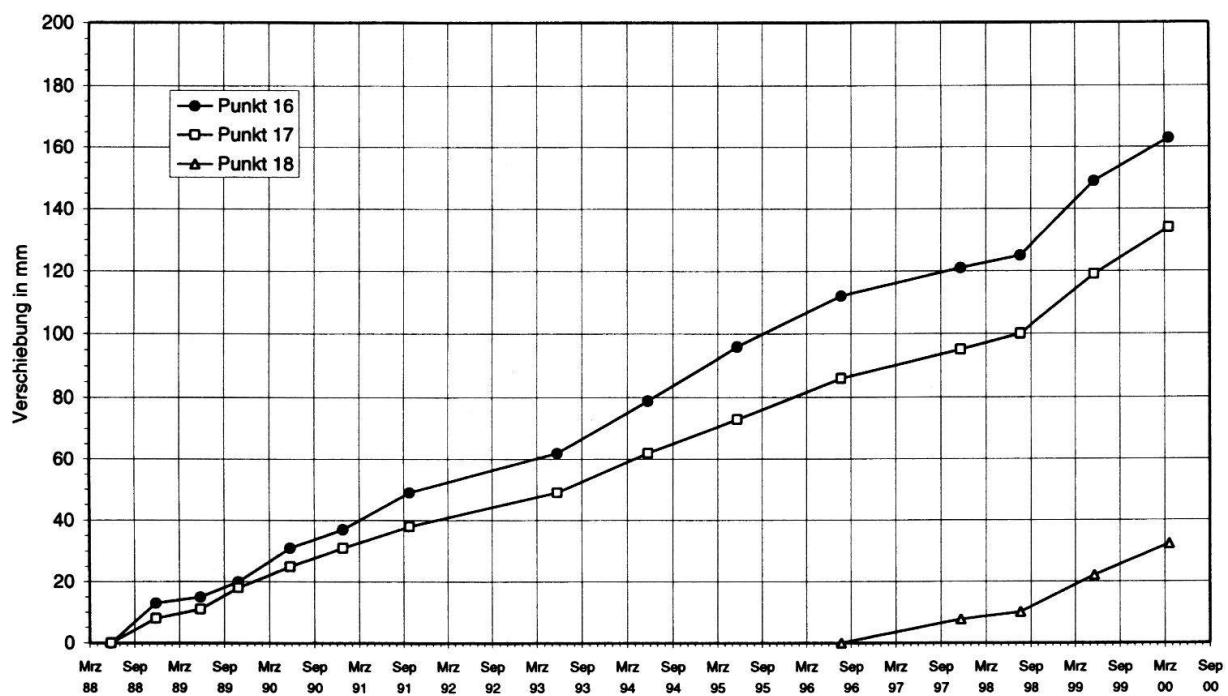


Fig. 4: Gesamtverschiebung 1988 bis 1999 ausgewählter Messpunkte.

les befinden sich 2 bewohnte Häuser. Zahlreiche, über den ganzen Hangbereich bis hinunter zum Hangfuss bei Lüpftwil verteilte Nagelfluhblöcke deuten darauf hin, dass dieser Prozess bereits seit langer Zeit aktiv ist.

4. Gefahrenmanagement

Ein Abbruch der gesamten Rutschmasse von einigen Millionen Kubikmetern hätte katastrophale Auswirkungen auf den tiefer liegenden Talgrund mit den bewohnten Liegenschaften, die Verkehrswege (Kantonsstrasse, Bahn) und die Thur (Aufstauung). Aufgrund der bis 1998 relativ gleichmässigen und langsamen Bewegung der Felsrutschung von 0.8 bis 1.2 cm pro Jahr ergab sich bisher kein zwingender Handlungsbedarf, welcher die Stabilisierung des Rutschhangs zum Ziel gehabt hätte. In Anbetracht der grossen Rutschmasse kämen nur Massnahmen in Frage, die eine grossflächige und dauerhafte Absenkung des Hangwasserspiegels zum Ziel haben. Derartige Lösungsansätze wurden im Rahmen eines Variantenstudiums skizzenhaft entworfen.

Die Hangbewegung wird an ausgewählten Messpunkten seit 1988 geodätisch überwacht. Davon ausgenommen sind die Schollenablösungen im Stirnbereich der Rutschung direkt oberhalb von Lüpftwil, deren Bewegungsablauf mit Extensometern erfasst wird.

Im Zusammenhang mit der deutlichen Zunahme der Rutschbewegung im Jahre 1999 stellt sich die Frage über die Auswirkungen der aussergewöhnlichen Witterungsverhältnisse auf den zukünftigen Bewegungsablauf. Im Zentrum des Interesses stehen Fragen bezüglich Veränderungen bei der Wasserwegsamkeit, der Seitenverspannung und der mittleren Restscherfestigkeit.

Die Kausalität zwischen den überdurchschnittlichen Niederschlagsmengen mit entsprechend hoher Hangwasserspiegellage erachten wir als gegeben. In Anbetracht der noch immer geringen Rutschgeschwindigkeit sind Sofortmassnahmen zur Stabilisierung des Rutschhangs nicht erforderlich.

Aufgrund dieses Sachverhaltes werden die geodätischen Messungen intensiviert und zusätzlich die Hangwasserspiegelschankungen in den beiden Bohrlöchern mit Hilfe von Druckgebern automatisch registriert. Diese Messungen dienen der Verfeinerung des hydrogeologischen Modells und liefern die Grundlagen, mittels Vergleich mit den früher erhobenen Datensätzen Klarheit über die Ursache der Beschleunigung und den mutmasslichen künftigen Bewegungsablauf zu gewinnen.

5. Folgerungen

Die vorliegenden Daten deuten auf einen ursächlichen Zusammenhang zwischen den aussergewöhnlichen Witterungsverhältnissen im Jahre 1999 und der Zunahme der Rutschgeschwindigkeit hin. Mit der Intensivierung der Messungen soll die Datenbasis für die Beurteilung des Gefahrenpotentials verfeinert werden. Die Ergebnisse dienen der Entscheidungsfindung, ob bauliche Interventionen zur Stabilisierung der Rutschung zu ergreifen sind.