

Allgemeiner Teil

Autor(en): **Bollinger, D. / Hegg, C. / Keusen, Hans Rudolf**

Objektyp: **Chapter**

Zeitschrift: **Bulletin für angewandte Geologie**

Band (Jahr): **5 (2000)**

Heft 1

PDF erstellt am: **19.09.2024**

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

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

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/Frühsummer 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 Bösinggen – 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 Thoun, 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	Chamason (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 30'000	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 50'000	Quartier und Strasse beschädigt
8	Innertkirchen (BE)	Blattenalp	662'500/171'550	Mai	Pot. Felsrutsch	1600	250'000 25'000	Grimselstrasse 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	Mehrere 1'000'000	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	30'000 100'000	Quartier beschädigt
14	Weesen (SG)	Flywald	727'000/224'000	23. Mai	Rutschung Murgänge	1100	150'000	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, Solletta, 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 Bösinggen – 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",

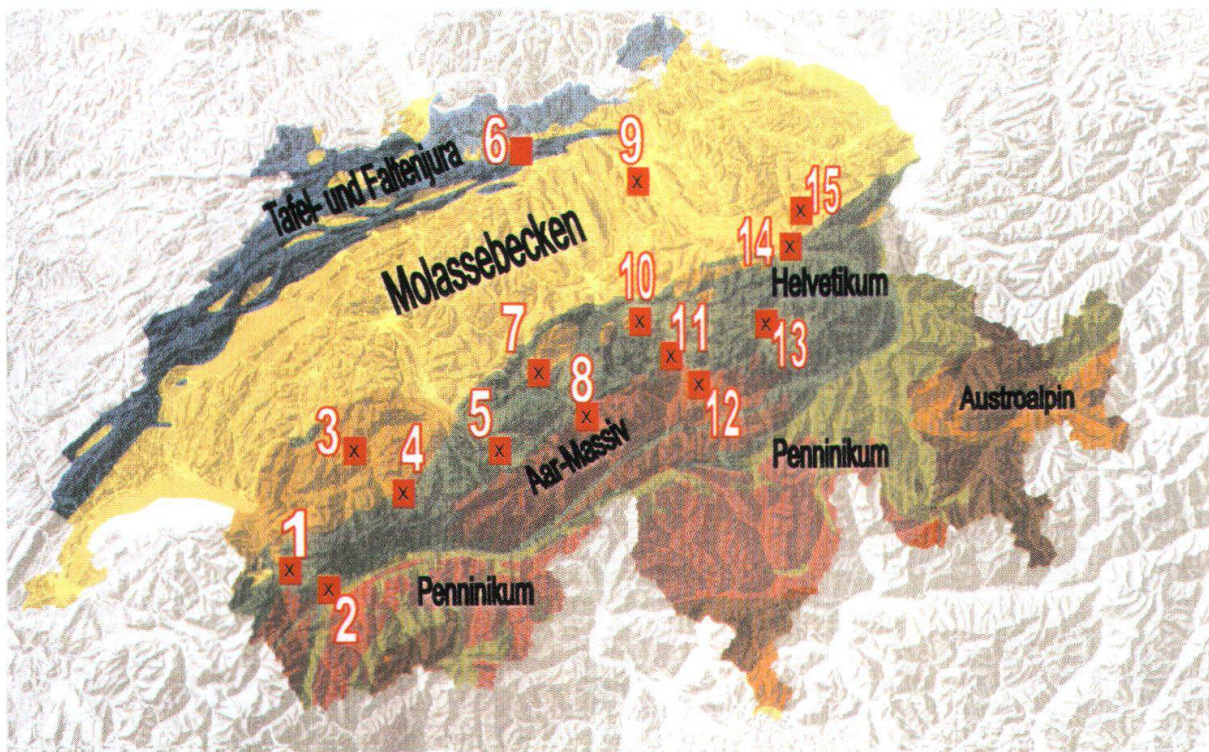


Fig. 1: Tektonische Karte der Schweiz mit Lage der Fallbeispiele (Quelle LHG/BWG ©)

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 Bereiche 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

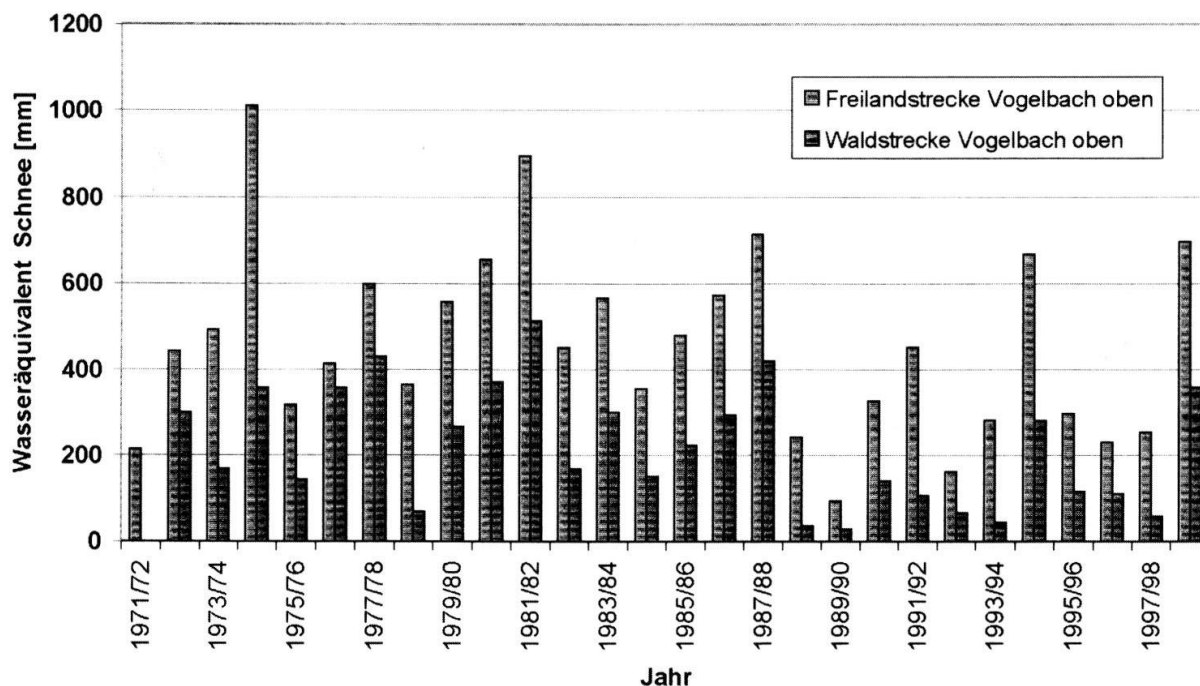


Fig. 2: Die jährlichen maximalen Schneewasseräquivalente im Testgebiet Vogelbach im Alptal (SZ) der Eidg. Forschungsanstalt WSL.

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 nasskalte 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 verbreitet 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-

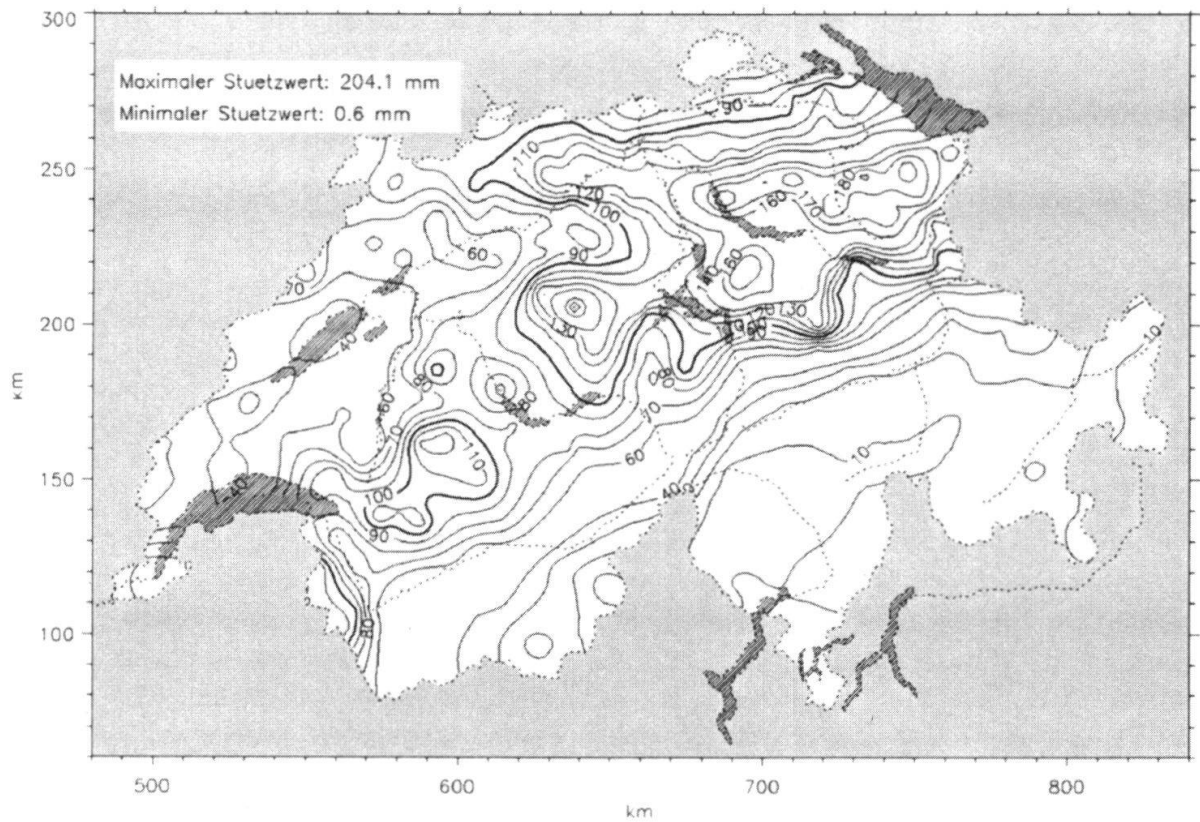


Fig. 3: Maximaler 72-Stunden-Niederschlag während der Periode vom 11.–15. Mai 1999. (BWG 2000a).

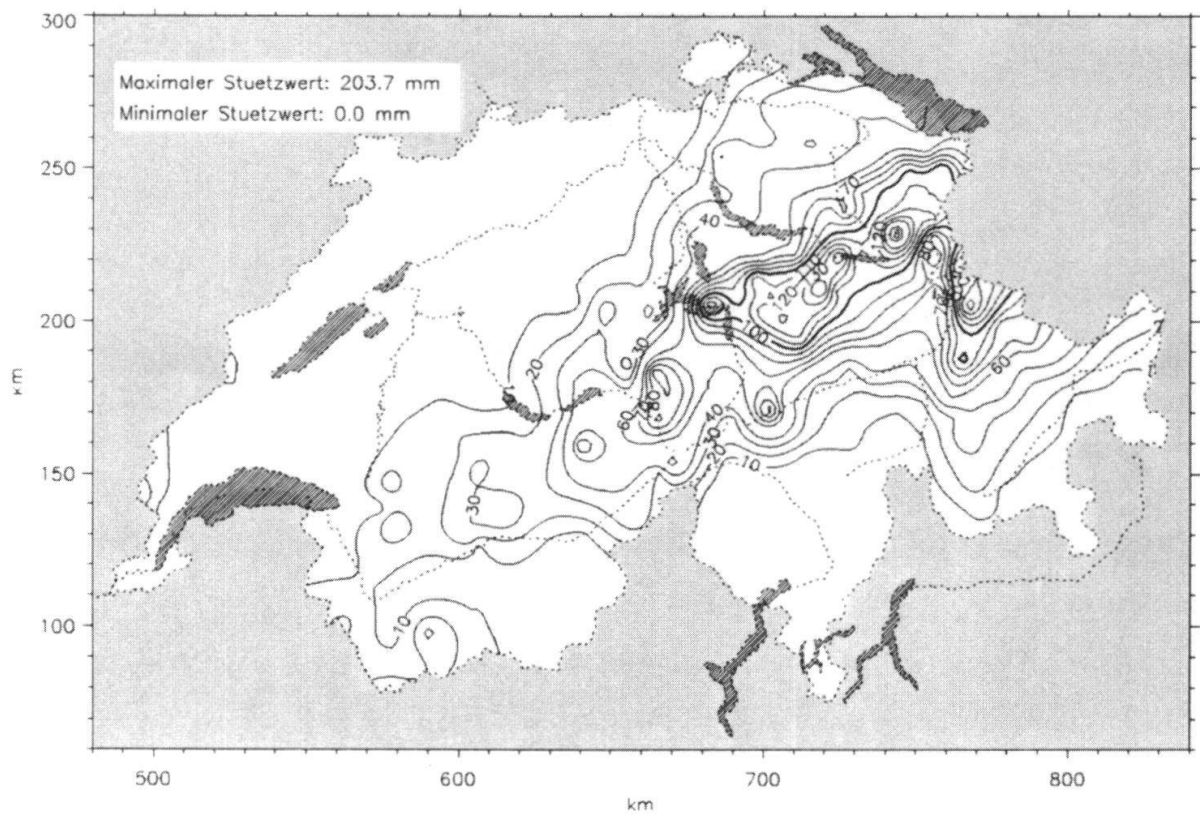


Fig. 4: Maximaler 24-Stunden-Niederschlag während der Periode vom 19.–21. Mai 1999. (BWG 2000a).

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 Bellinzonese 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 Unweterschäden. 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 Schadenssumme 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 Schadenkosten berücksichtigt und aufgelistet sind sowohl versicherte Sach- und Personenschäden (kantonale Gebäudeversicherungen, Privatversicherungen), als auch

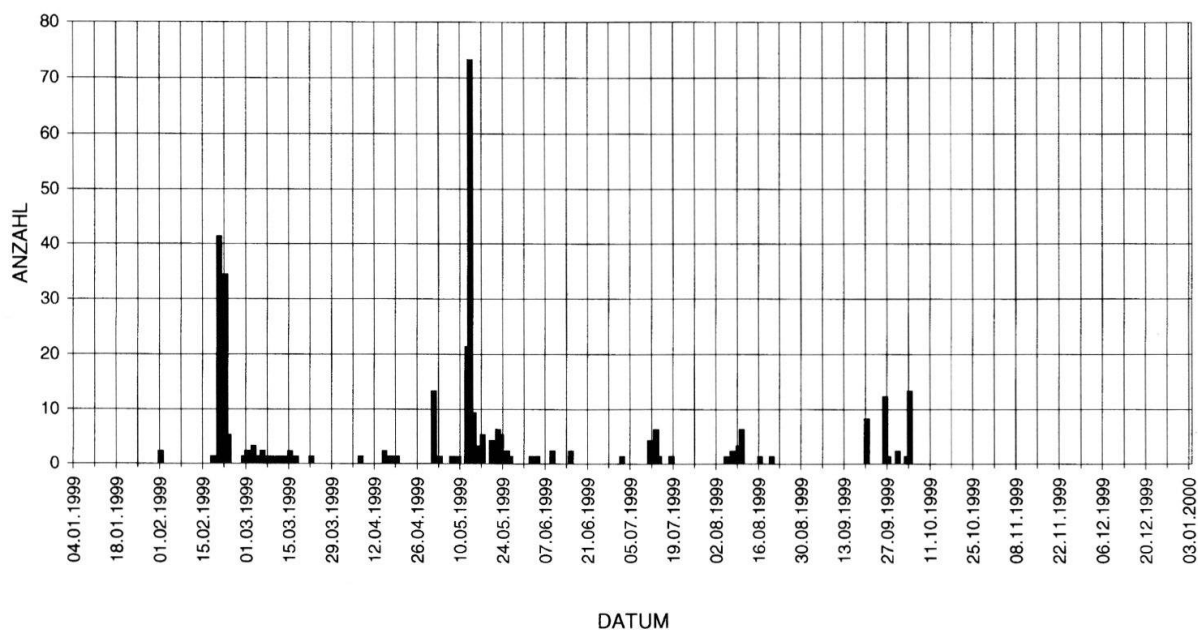
nicht versicherte und nicht versicherbare Schäden. Darunter fallen u.a. Elementarschäden in der Forst- und Landwirtschaft, Infrastrukturschäden von Bund, SBB, Kantonen und Gemeinden.

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 Scheedecke 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 Monats Mai dehnen sich die Ereignisse in den Voralpenraum der Westschweiz sowie



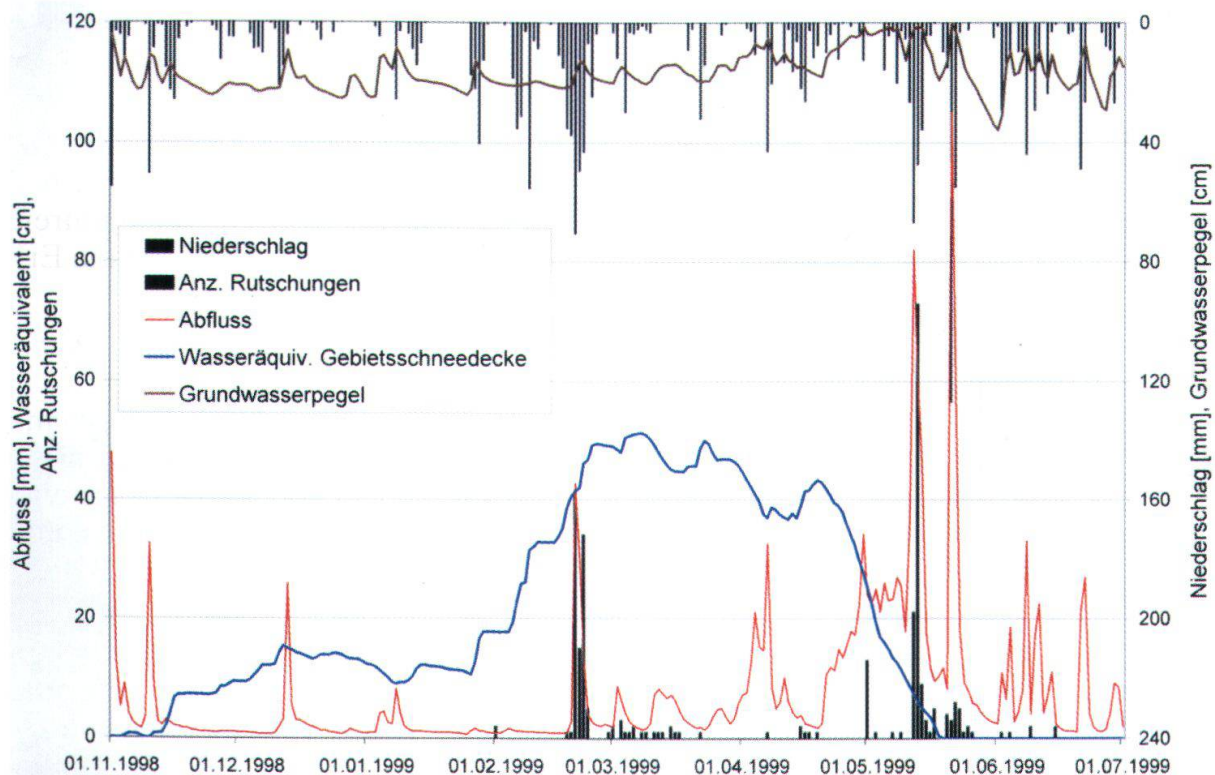
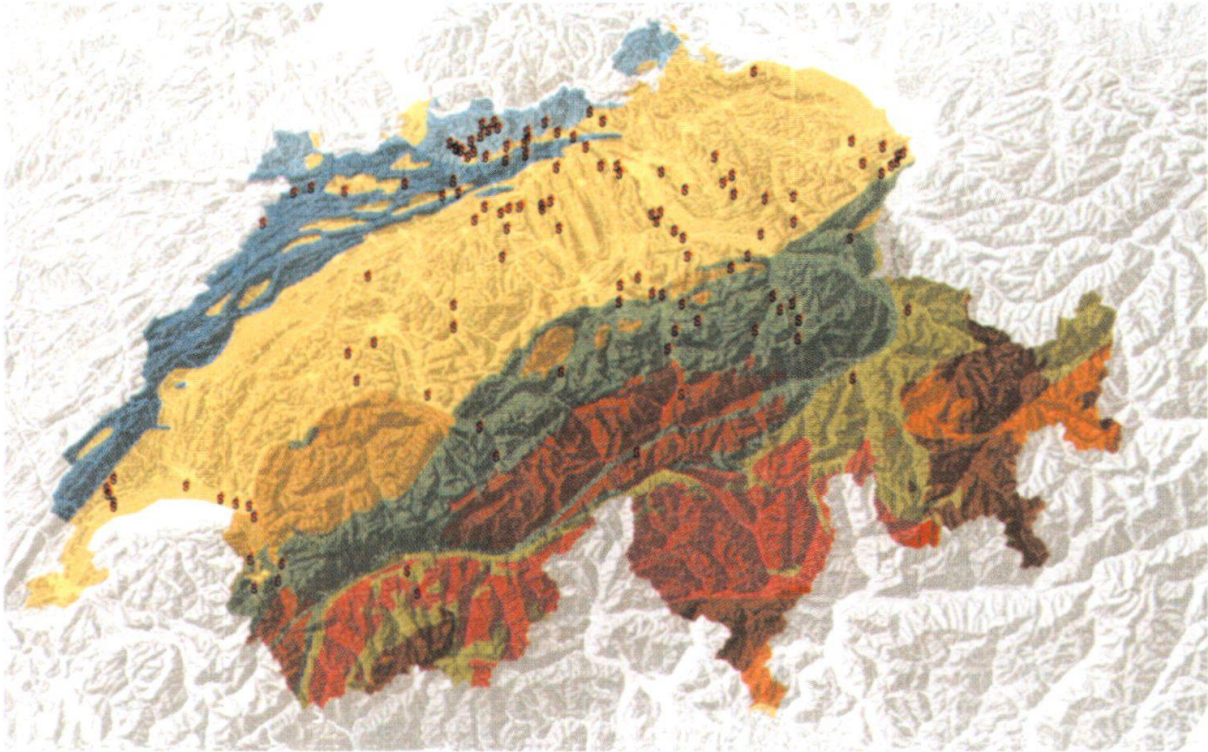


Fig. 6: Abfluss, Niederschlag, Wasseräquivalent der Schneedecke, Grundwasserspiegel im Alptal (SZ) und zeitliche Verteilung der Hanginstabilitäten des Jahres 1999.

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

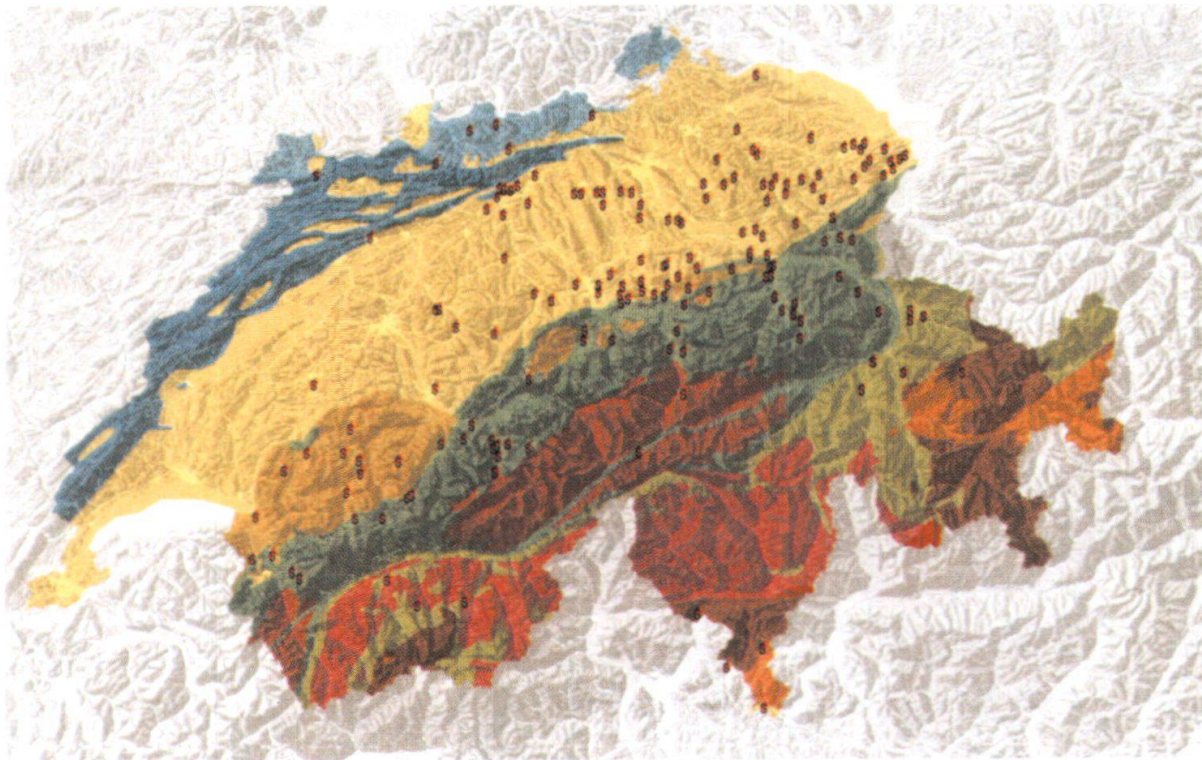


Fig. 7: Räumliche Verteilung der Hanginstabilitäten während der Monate Januar–März und April–Juni 1999.

Juli - September



Oktober - Dezember

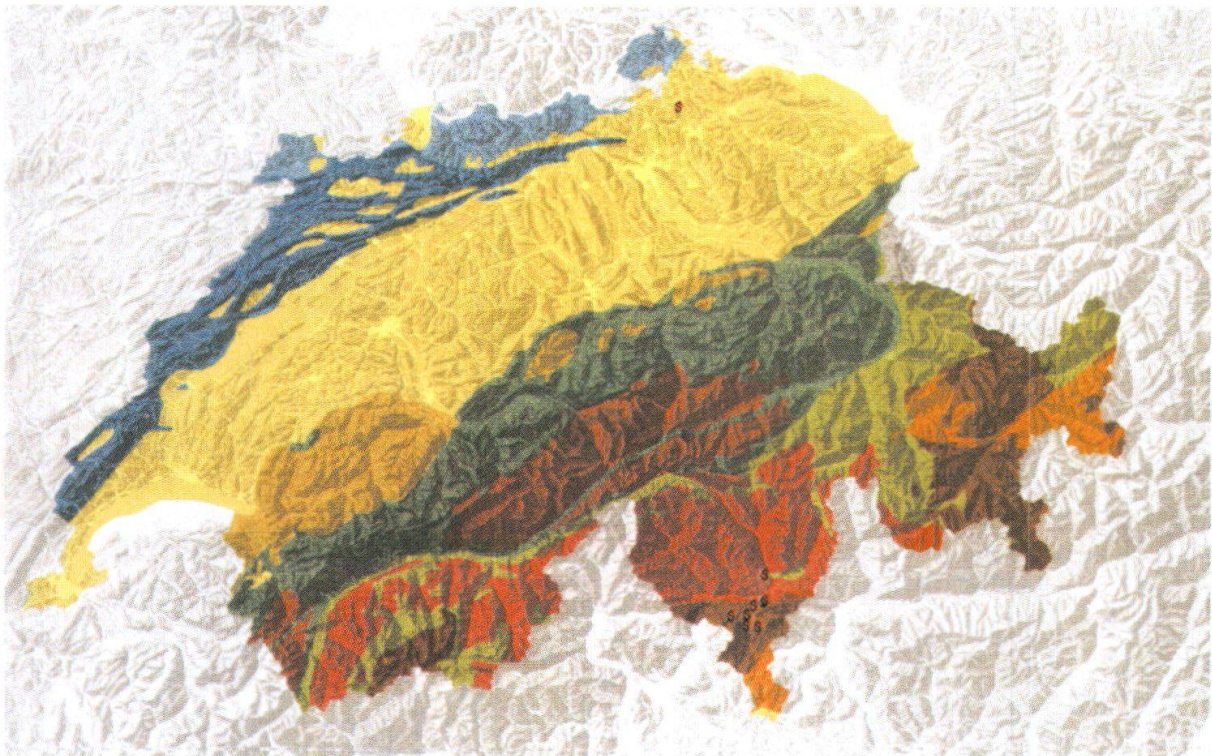


Fig. 8: Räumliche Verteilung der Hanginstabilitäten während der Monate Juli–September und Oktober–Dezember 1999.

4. Aspekte der Hangstabilität

4.1 Disposition

Die Entstehung, Auslösung und der Ablauf von Hangprozessen sind Teil eines komplexen Systems, beispielsweise einer Talflanke 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).

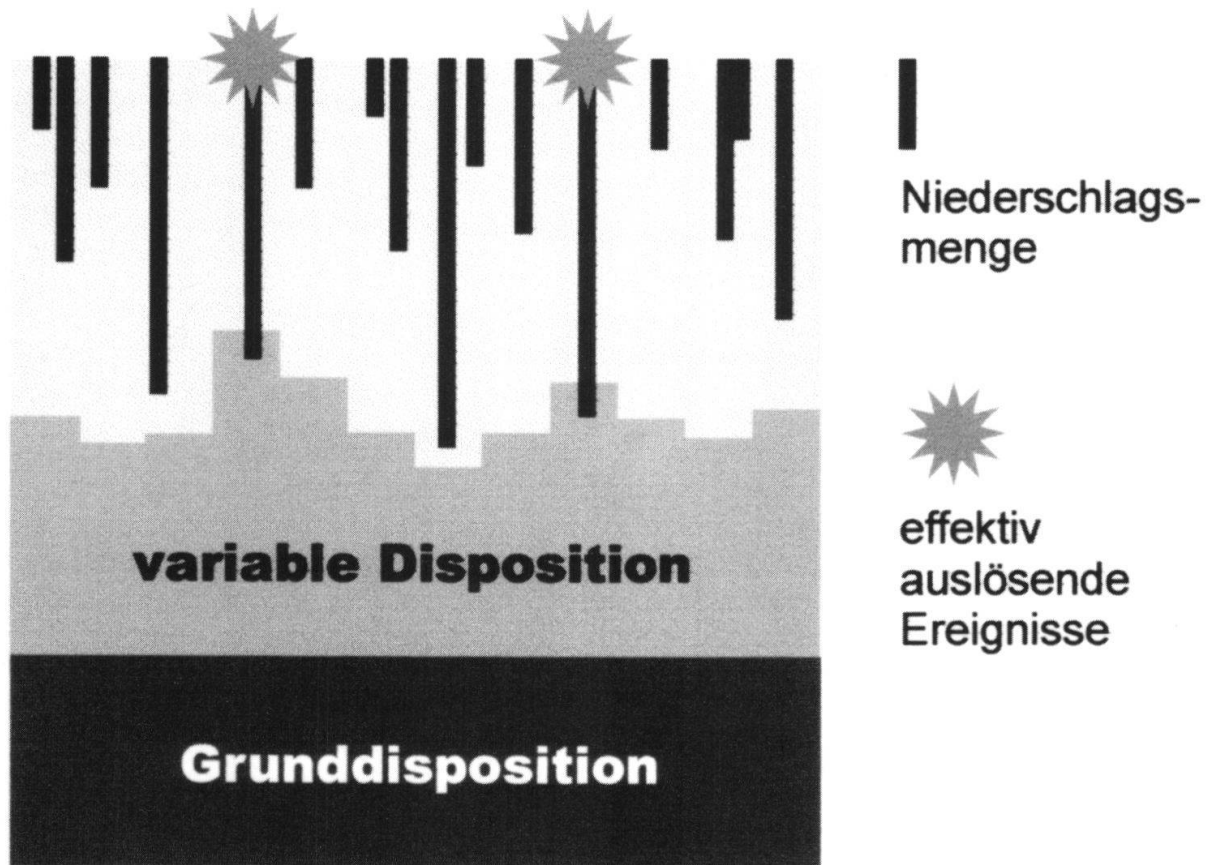


Fig. 9: Verschiedene Faktoren bestimmen, ob aus einem natürlichen Ereignis ein gefährlicher Prozess wird (Quelle: Achtung, Naturgefahr! - KAWA, TBA, AGR, Bern 1999).

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 überlagernden Hangpaketes entgegenwirken (Entlastung). Dabei kann es auch zu Formen von hydraulischem Grundbruch kommen.

- **Porenwasser \pm 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. Dasselbe 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 wasserwegsamem 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 "Reservoirs" 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 ($l = 5$ m, $d = 3$ m) mit dem Raumgewicht $\gamma = 21$ kN/m³ 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		
<hr/>		
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.

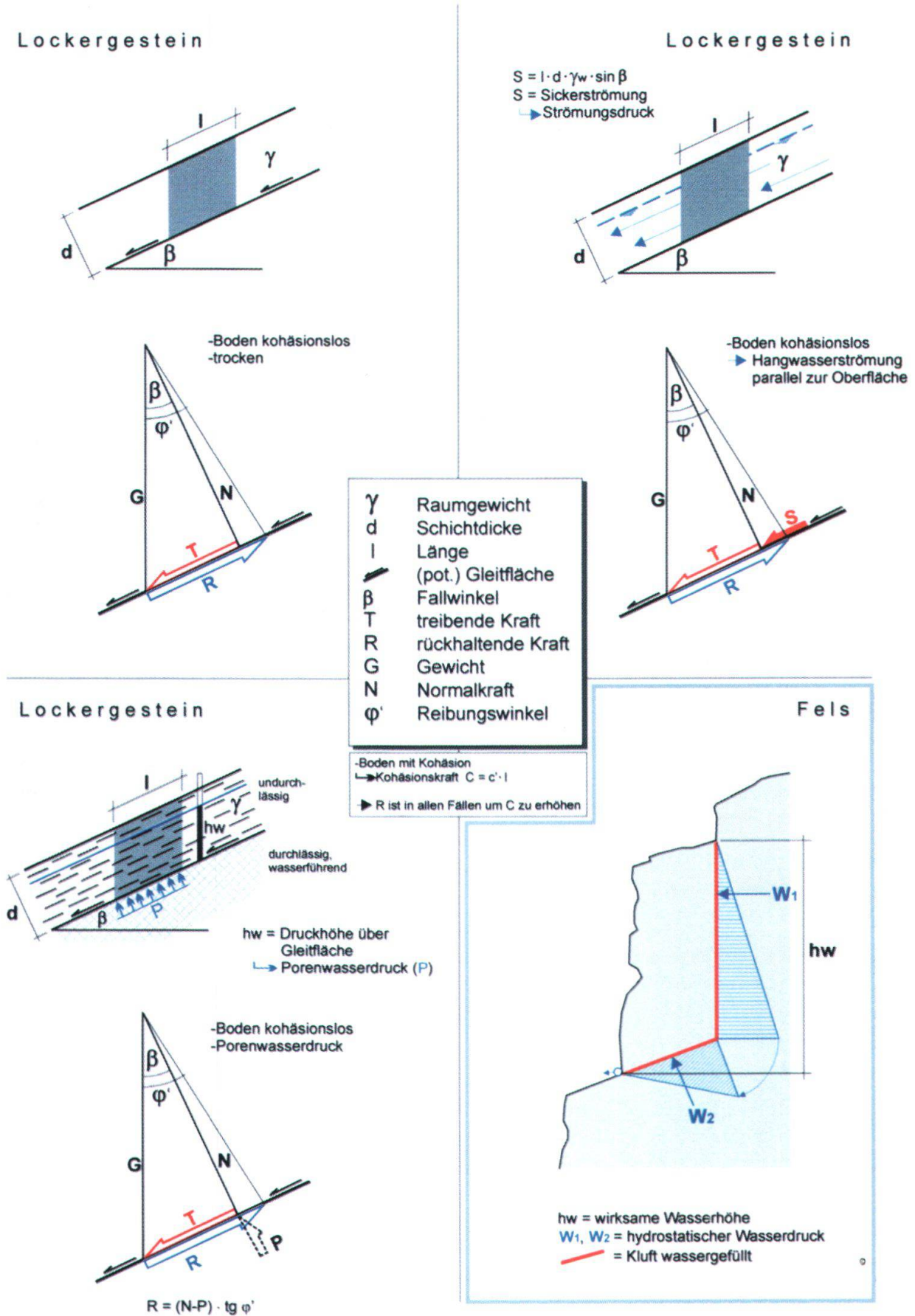


Fig. 10: Stark vereinfachte Darstellung der auf ein Untergrundelement wirkenden Kräfte.

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 Frühjahres 1999 zeigen, dass die Ausbruchsrisiken 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 m^3 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 (\approx 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 überlagernden 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 vorstiessen. 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 Ausbruchsrische (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 Ausbruchsnische 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 Ausbruchsnische 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 ausgebagert werden.

Dass selbst ganz lokale Hanginstabilitäten zu einer ernsthaften Gefährdung werden können, zeigt eine kleine flachgründige Rutschung in der Flanke des Gandgrabens 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 Gryfenbach (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 Schuttes 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 Lutschine 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 Hirschigraben (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 (gebrüche, entfestigte, oft weniger kompetente Felspartien) bewegen.

IVa) Bewegungen auf klar definierten Trennflächen

Durch den anhaltenden schneeschnmelze- 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 (Ebnet 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 Schichtfläche (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 m³ 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 Rinnsalen 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 6'000–8'000 m³

massige Kreidekalke in den Schwandgraben und füllten diesen mit bis zu 500 m³ grossen Blöcken (Verklauungsgefahr 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 Hangan-schnitten im Fels längs der Grimselpassstrasse. Fig. 12 zeigt abgeglittene Granit-platten, 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 Fels-türme, welche schiefrigen, teils entfestigten Mergeln auflagern. Bergseits sind sie durch klaffende, teils begehbare 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 Sach-schäden. 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, be-gleitet von Abbrüchen aus dem Molassefels.

Nahezu identische Mechanismen wurden verschiedenorts beobachtet, so auch bei einem kleinen Felssturz bei Breitlohn (Toffen), auf der orografisch linken Seite des Gürbetals. 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 jähe 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 Lütchinenufer die Heimwesen von «Spiss» und «Hofstatt». Unmittelbar über diesen, obenher der hohen, senkrechten Fluh, auf Gebiet der Alpschaft 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 Grütschalp 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, Schlambalmhubel.

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 Attinghausen 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 Schanis (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 vermindernde 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 eindruckliche 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-

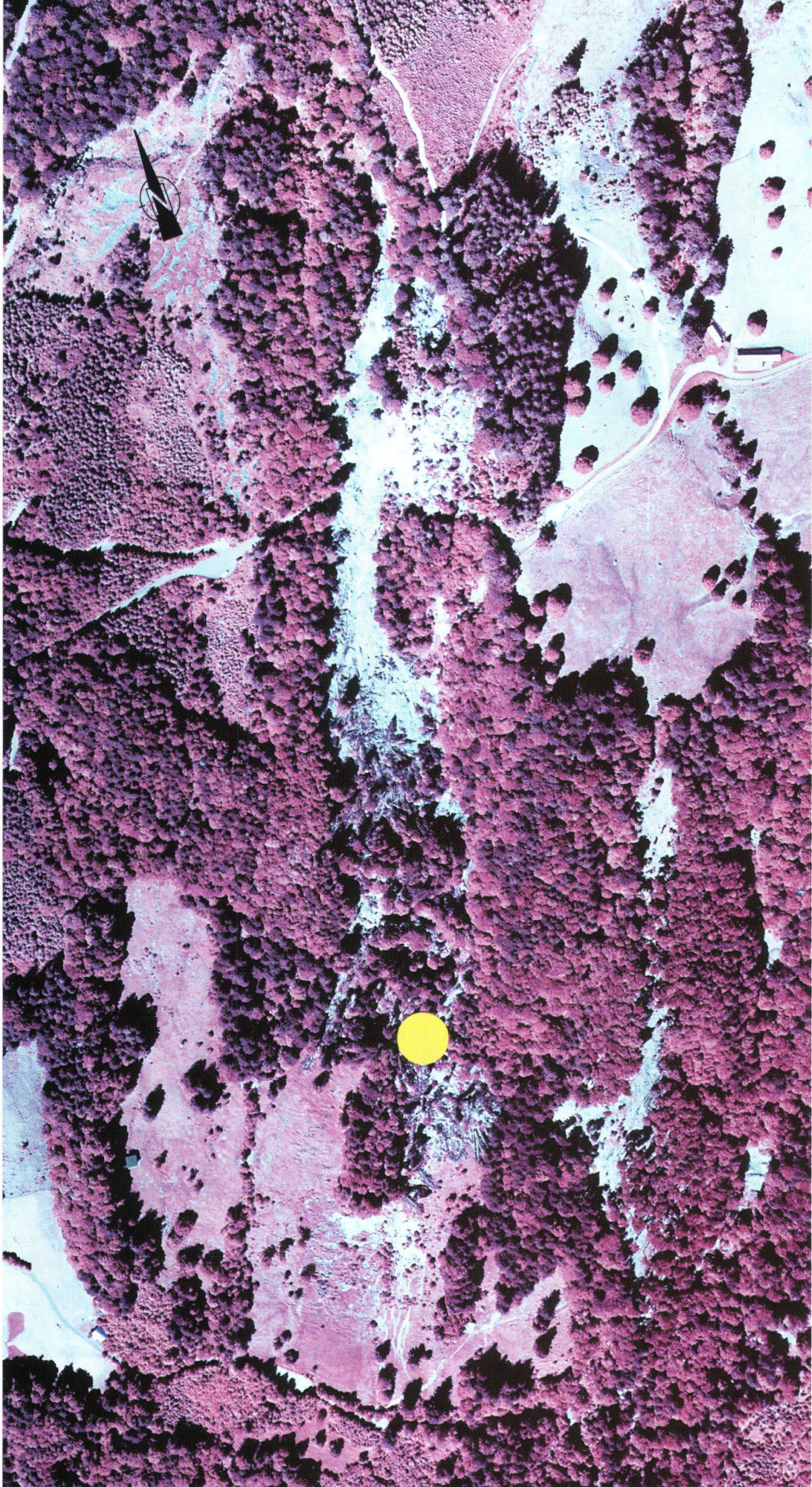


Fig. 14: Die Rutschung Ruffi (Schänis). ● Fundstelle Abies alba, Alter 800 Jahre. Infrarotflugaufnahme vom 14.2.2000.

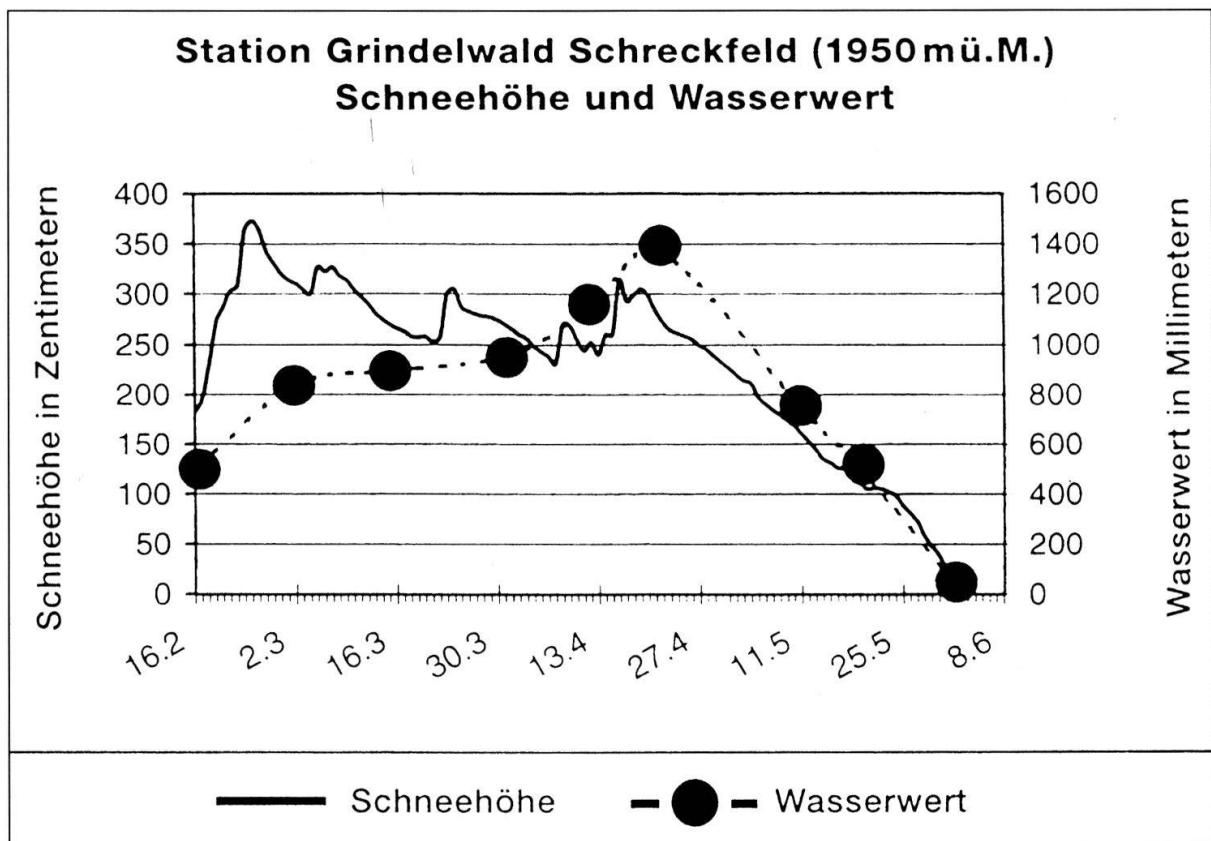


Fig. 15: Station Grindelwald, Schreckfeld. Schneehöhen und Schneewasseraquivalente in der Zeit vom Februar bis Juni 1999. Aus: Oberingenieurkreis 1 (1999).

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 Kausalfaktoren 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.