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: Bollinger, Daniel / Murer, Reto

Kapitel: A2 : Lehnenviadukt Beckenried, Hanginstabilitäten Ischenwald (Beckenried, NW)

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: 13.07.2025

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

Bull. angew. Geol.	Vol. 5	Nr. 1	S.111–117	September 2000

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. m^3. 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 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.

1. Ereignisse

1.1 Ausgangssituation

Am Morgen des 22. Februar 1999 löste sich im Ischenwald auf Kote 750 eine Hangmure von einigen 100 m^3 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 m^2 rund 2.5 Mio. m^3 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 m^3 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 Geschiebesammlern 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 km^2 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 Felspakete, Blockschutt, verlehmter 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 verlehmte Gehänge-

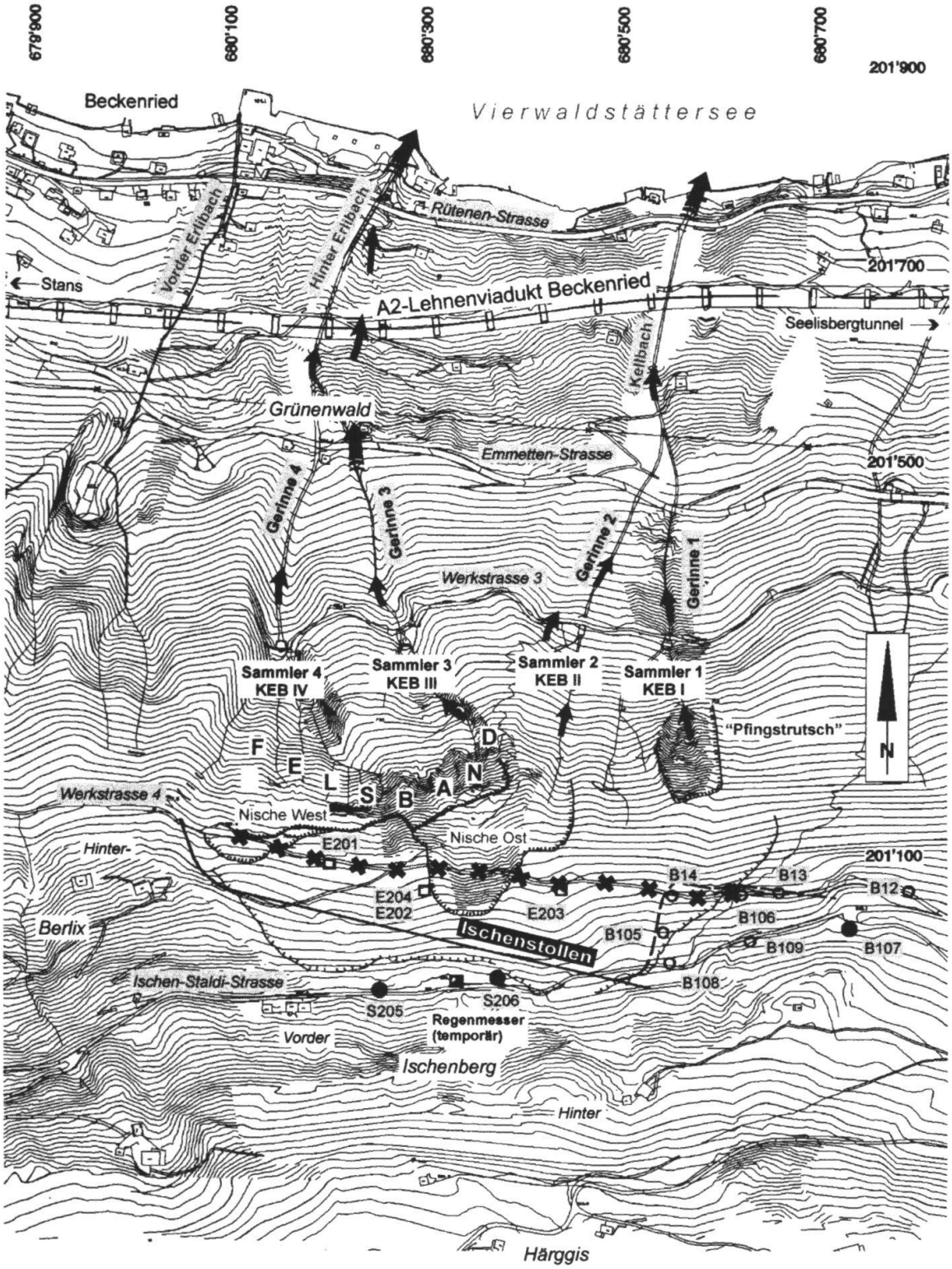

Fig. 1: Situation Ischenwald – A2 Lehnenviadukt Beckenried.

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 m^3 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-

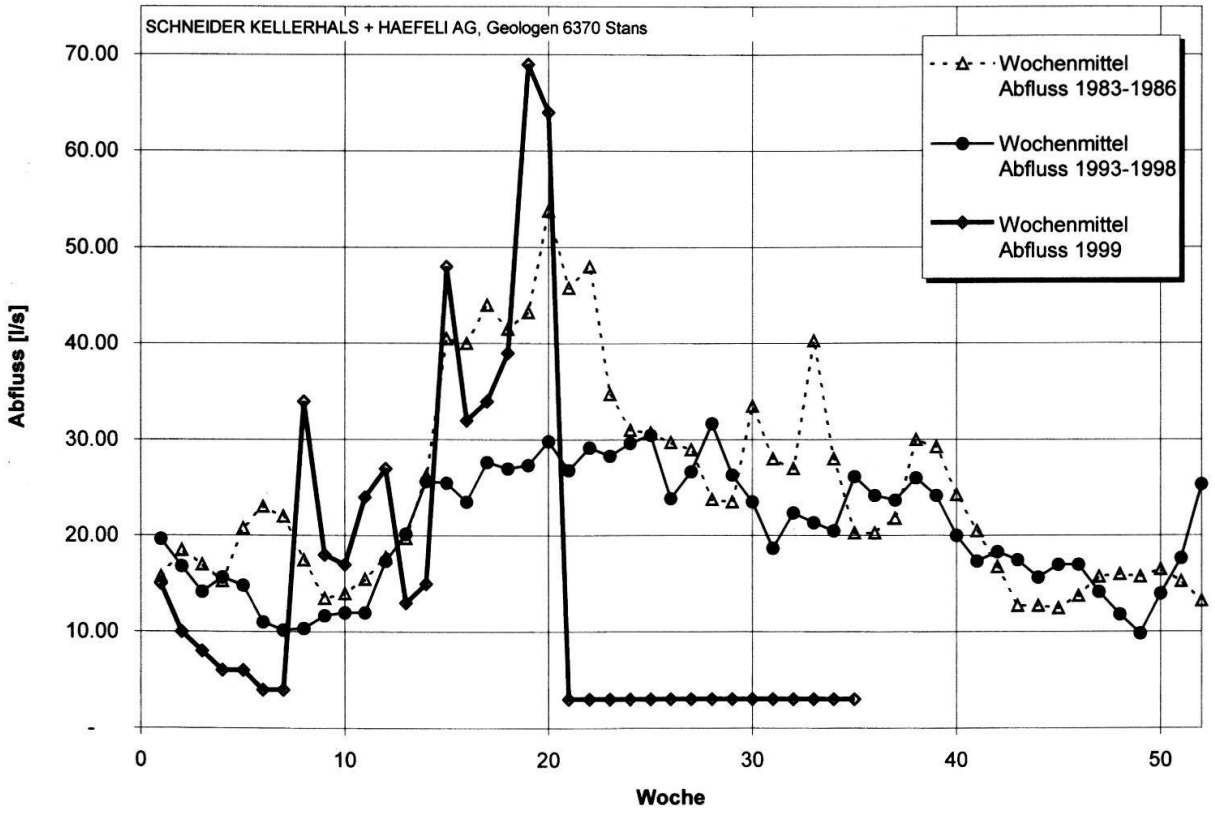

Fig. 2: Abflussganglinien des Ischenstollens (Wochenmittel 1999 im Vergleich mit den durchschnittlichen Wochenmitteln von 1983 – 1986 und 1993 – 1998).

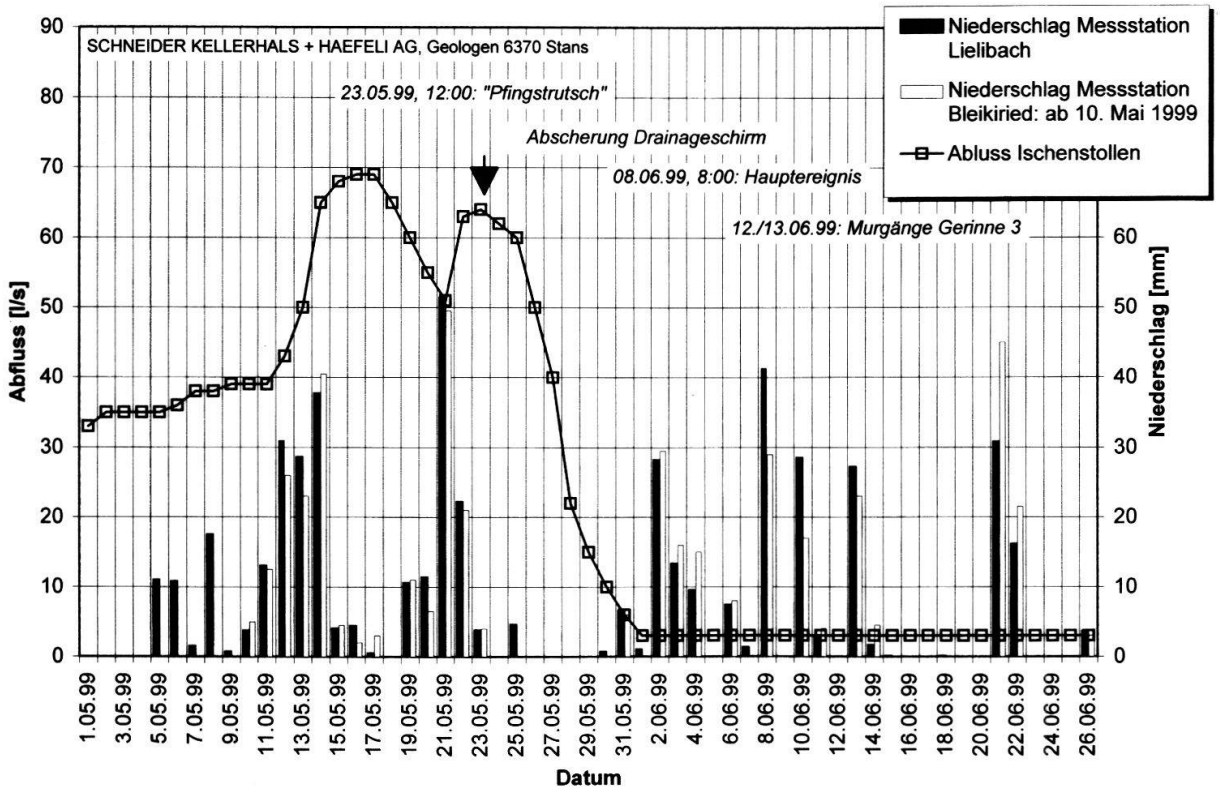

Fig. 3: Abflussganglinien des Ischenstollens und Niederschläge Lielibach (Tageswerte Mai – Juni 1999).

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 Ablenkkeilen 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 Drainagestollen 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 m^3 pro Ereignis aus der Rutschfront zu rechnen sein. Nicht ganz auszuschliessen ist eine Rutschung oder Hangmure von 10'000 – 15'000 m^3 aus einem destabilisierten, aber noch nicht "entladenen" Teilgebiet der letztjährigen Rutschung. Mit den erwähnten Rückhaltekapazitäten sind solche Ereignisgrössen indes 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.