

Geomonitoring Rindberg

Rutschungsüberwachung und
Methodenentwicklung
Gem. Sibratsgfall, Vorarlberg, Österreich

Finanziert durch



Unterstützt durch



Gemeinde
Sibratsgfall



Geologische Betreuung



Elektrotechnik



Mess-Systeme



Jahresbericht 2001

Inhalt

Geomonitoring Rindberg

<i>Ein Rutschhang auf der Intensivstation (Reiterer)</i>	1
--	----------

Hangbewegung Rindberg

<i>Von der Katastrophe zum Forschungsobjekt (Wöhrrer/Walser)</i>	3
--	----------

Vermessung der Hangbewegung Rindberg

<i>Ein Rückblick mit Ausblick (Mittelberger)</i>	7
--	----------

Hangbewegung Rindberg

<i>Geologie (Jaritz)</i>	9
--------------------------------	----------

Geomonitoring Rindberg

<i>Das geophysikalische Voruntersuchungsprogramm am Rindberg (Supper)</i>	19
---	-----------

Geomonitoring Rindberg

<i>Erdbauarbeiten und Einrichtung des Meßsystems (Albrecht)</i>	23
---	-----------

Glossar

Koordination und Gestaltung

DI Margarete Wöhrrer-Alge

Druck

Hecht Druck, Hard

Fotos

FTD f. WLV, LVA Vorarlberg, Mag. Jaritz

Orthophotos und ÖK

© BEV – 2002, Vervielfältigt mit Genehmigung des BEV –
Bundesamt f. Eich- und Vermessungswesen in Wien, Zl. 42 409/02

Orthophoto freigegeben vom BMLV mit GZ 13.088/30-1.4/01

Geomonitoring Rindberg

Ein Rutschhang auf der Intensivstation



Aufnahme von der Gotalpe Anfang Juni 1999

Auf Ersuchen der regional und überregional Verantwortlichen hat die Wildbach- und Lawinenverbauung sofort nach Auftreten der ersten Rutschungsanzeichen im Mai 1999 am Rindberg ihre Tätigkeit aufgenommen. Um Maßnahmen mit möglichst hoher Erfolgsaussicht treffen zu können, war eine rasche Untersuchung und Interpretation der naturräumlichen Vorgänge notwendig und das Ausmaß des Ereignisses war zu ermitteln.

Bereits am ersten Tag mit guten Sichtbedingungen wurden vom BEV im Auftrag der Wildbach- und Lawinenverbauung hochauflösende Falschfarbenbilder geflogen und daraus wurde innerhalb kurzer Zeit ein digitales Orthophoto erstellt. Mit diesen Unterlagen konnte die Rutschung flächenmäßig sehr genau eingegrenzt werden.

Der für die Wildbach- und Lawinenverbauung beratend und begutachtend tätige Geologe Mag. Wolfgang Jaritz schlug die Durchführung einer Geoelektrik zur Untergrunderkundung vor, welche von Mag. Supper von der Geologischen Bundesanstalt im Auftrag der Wildbach- und Lawinenverbauung durchgeführt wurde. Das von Mag. Jaritz interpretierte Ergebnis war eindeutig und –



Durch die Hangbewegung zerstörte Rindbergkapelle

wie sich durch eine nachfolgende Bohrung herausstellte – richtig.

Als Verantwortlichen der Wildbach- und Lawinenverbauung hat mich die relativ neue Möglichkeit der Geophysik fasziniert. Als wissenschaftlichen Laien, der für seine praktischen Aufgaben stets rasche und verlässliche sowie möglichst kostengünstige Erkundungsarten benötigt, hat mich die Geoelektrik sofort an die Untersuchungsmethode des EKG in der Humanmedizin erinnert.

Doch wie in der Medizin bei Akutfällen und/oder genauen Untersuchungen ein 24-Stunden-EKG oder ein Dauer-EKG gemacht wird, um aus der Reaktion des Körpers auf verschiedene Systemzustände (wach – Schlaf) und in Stresssituationen genaueres Wissen zu generieren, genauso erschien es uns wichtig durch laufende bzw. ständige geophysikalische Untersuchung des Hanges am Rindberg die sich ändernden Systemzustände der Rutschmasse (Schneeschnmelze, Regen- bzw. Trockenperioden) zu erfassen. Die Widerstandsverteilung im beobachteten System hängt im wesentlichen vom Material und vom Wassergehalt ab, mittels Geomonitoring soll der permanente Parameter Boden noch besser geophysikalisch eingegrenzt und der vari-

able Parameter Feuchtigkeit bzw. Wassergehalt als Indiz für kritische bzw. besonders labile Phasen ausgewertet werden.

Dazu wurde neben der Entwicklung der geophysikalischen Dauerbeobachtungsanlagen auch ein umfangreiches geodätisches und hydrologisches Messsystem errichtet.

Die für die Entwicklung der neuen Geräte und Messsysteme erforderlichen Mittel werden in Form einer Bund/Bundesländerkooperation vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur, dem Land Vorarlberg, der EU sowie dem Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft zur Verfügung gestellt.

Doch zurückkehrend zu meinem Vergleich mit der Humanmedizin gibt es für das Geomonitoring Rindberg eines sicher nicht: eine ärztliche Verschwiegenheitspflicht.

Wir werden laufend über die Ergebnisse und Probleme bei der Methodenentwicklung und der Hangüberwachung berichten und laden alle Interessierten ein, mit uns Kontakt aufzunehmen.



Rindberghang von der Gotalpe aufgenommen Mitte Juni 2001

Anschrift des Verfassers:

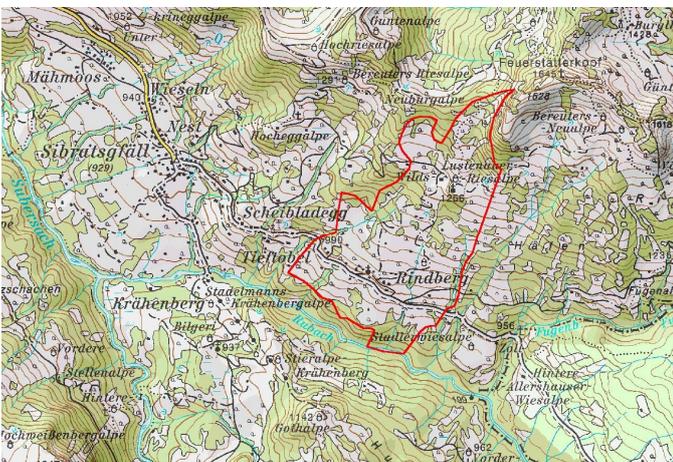
Dipl.-Ing. Andreas Reiterer
FÖRSTTECHNISCHER DIENST FÜR
WILDBACH- UND LAWINENVERBAUUNG
Sektion Vorarlberg
Rheinstraße 32/4, 6900 BREGENZ

Die Rutschung Rindberg

Von der Katastrophe zum Forschungsobjekt

Geographische Lage des Rindberghanges

Das Hangbewegungsareal liegt östlich der Ortschaft Sibratsgfall an einem Südhang nahe der Grenze zu Deutschland. Den tiefsten Punkt stellt das Tal der Rubach mit 850 m Seehöhe dar, der höchste Punkt liegt am Westkamm des Feuerstätterkopfes auf 1450 m Seehöhe.



Lage des Hangbewegungsareales

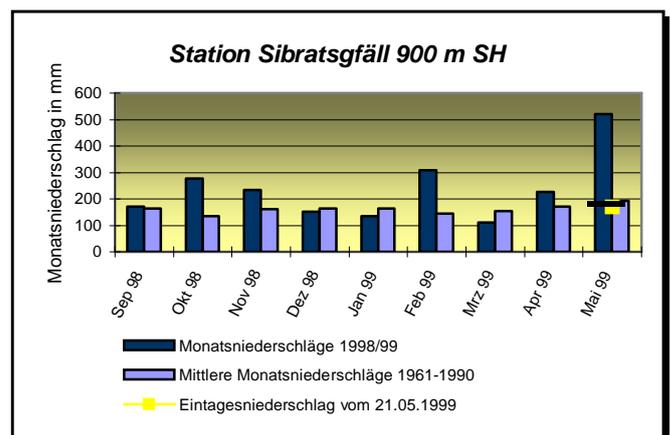
(© BEV – 2002, Vervielfältigt mit Genehmigung des BEV – Bundesamt f. Eich- und Vermessungswesen in Wien, Zl. 42 409/02)

Klimatische Voraussetzungen

Zur Charakterisierung der klimatischen Gegebenheiten des Hangbewegungsareales können die 2 Stationen Sibratsgfall und Schönbach herangezogen werden. Die Jahressumme des Niederschlages zwischen September 1998 und August 1999 erreichte an beiden Stationen mit ca. 3000 mm beinahe tropische Verhältnisse.

Das ganze dem Beginn der Rutschbewegung vorangegangene Winterhalbjahr 1998/99 weist bereits sehr hohe Niederschlagswerte auf (1616 mm in Sibratsgfall in 8 Monaten). Im Herbst 1998 sind vor Wintereinbruch ausgiebige Niederschläge zur verzeichnen und die Winterschneedecke fällt auf nicht gefrorenen Boden.

Bevor die Hangbewegung am 18. Mai durch Risse im Zufahrtsweg von den Alpbesitzern bemerkt wird, ereignen sich ausgiebige Niederschläge vom 10. bis 15. Mai mit insgesamt 195,7 mm. Aussagen Einheimischer zufolge wies die Schneedecke vor Beginn der Starkniederschläge im oberen Bereich des Hangbewegungsareales noch eine Mächtigkeit von mehr als 1 m auf. Nach Auftreten der ersten Risse ist am 21. Mai in Sibratsgfall mit 168,4 mm Tagessumme ein ausgesprochen extremes Niederschlagsereignis zu verzeichnen. Die ca. 5 km südlich des Rindberges gelegene Station Schönbach verzeichnete an diesem Tag mit 216 mm Tagesniederschlag den dritthöchsten in Vorarlberg je gemessenen Eintagesniederschlag. In den ersten 5 Tagen (18. bis 22. Mai) nach Auftreten der ersten Risse fallen in Summe 266 mm Regen. Im Mai 1999 wird mit 520,6 mm Niederschlag ein Viertel eines normalen Jahresniederschlages registriert. Die Station Schönbach weist in dieser Zeit im Durchschnitt um 20 % höhere Niederschlagsmengen als Sibratsgfall auf, die Niederschlagswerte des Hangbewegungsareales dürften zwischen beiden Stationen liegen.



Monatsniederschläge der Station Sibratsgfall zwischen September 1998 und Mai 1999

Da ein Meter Frühjahrsschneedecke ein Wasseräquivalent von 400 bis 500 mm aufweist, muß davon ausgegangen werden, daß der Boden des obersten Hangbewegungsareales Anfang Mai innerhalb von ca. 2

Wochen mit mehr als 1 m³ Wasser pro m² Fläche beaufschlagt wurde.

Die ersten Bewegungsanzeichen

Am 18. Mai 1999 bemerkten die Alpbesitzer der Wilds Riesalpe, welche den Alpauftrieb vorbereiteten, Absetzungserscheinungen am Zufahrtsweg sowie erste



Risse am Zufahrtsweg zu den Riesalpen

Risse im oberen Bereich des derzeitigen Hangbewegungsareals. Da am darauffolgenden Tag bereits erste Schäden am Wohngebäude der Wilds Riesalpe und am Wirtschaftsgebäude der Alpe Bader festzustellen waren, wurden die Gemeindeverantwortlichen und die Feuerwehr alarmiert, welche den Rindberghang weiter beobachteten. Aufgrund der dramatischen Verschlechterung der Situation wurde am darauffolgenden Mittwoch die Katastrophenwarnzentrale des Landes alarmiert und ein Krisenstab bestehend aus dem Landesgeologen, Vertretern der Wildbach- und Lawenverbauung sowie des Landeswasserbauamtes, dem Bürgermeister und dem zuständigen Landesrat einberufen. Die von der Großhangbewegung erfasste Fläche wurde an diesem Tag mit 120 ha angeschätzt. Die Geschwindigkeit der Rissentwicklung war zu diesem Zeitpunkt beeindruckend – nach der Rückkehr von einer einstündigen Geländebegehung zur Wilds Riesalpe wurden von Mitgliedern des Krisenstabes neue Risse mit einer Breite von mehreren Zentimetern beobachtet.

Da der „Motor“ einer Rutschung das Wasser ist, wurden Überlegungen zur Ableitung des Oberflächenwassers aus der Rutschfläche angestellt. Aufgrund der

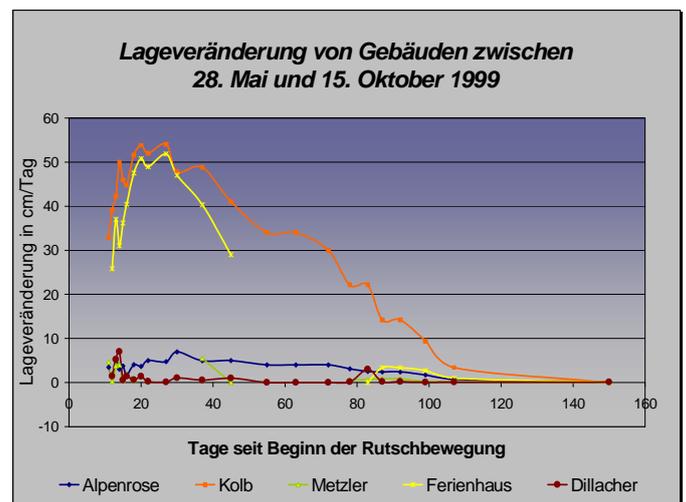
Größe der betroffenen Fläche und der darauf anfallenden Wassermengen war zu befürchten, dass bei einer Ausleitung weitere – zu diesem Zeitpunkt noch unbeeinflusste - Geländebereiche destabilisiert werden könnten, sodass von derartigen Maßnahmen Abstand genommen werden musste.

Evakuierungen

Nachdem zu diesem Zeitpunkt vom Krisenstab der Alpauftrieb bis auf weiteres zurückgestellt wurde, mussten bereits am darauffolgenden Pfingstwochenende aufgrund der dramatischen Entwicklung der Situation erste Evakuierungen im dauerbesiedelten Teil des Rindberges vorgenommen werden.

Einrichtung eines Beobachtungssystems

Aufgrund fehlender Erfahrung mit Ereignissen derartiger Größenordnung (aus dem mitteleuropäischen Raum ist nur ein Ereignis ähnlicher Größenordnung bekannt), war die weitere Entwicklung nicht absehbar. Die Einrichtung eines Beobachtungssystems war für weitere Entscheidungen von grundlegender Bedeutung. Am 28. Mai 1999 wurde vom Landesvermessungsamt gemeinsam mit dem Landesgeologen Dr. Bauer ein Messnetz eingerichtet, welches mittels

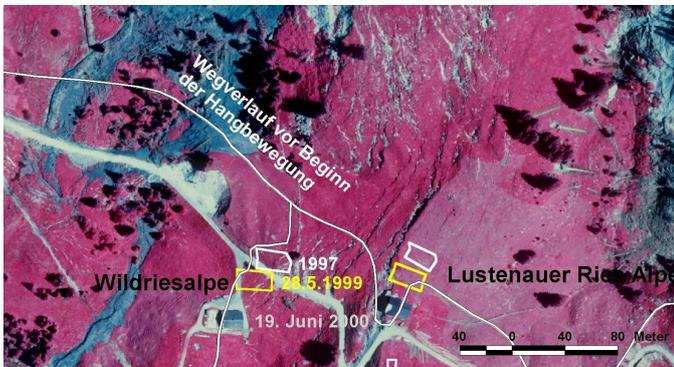


Theodolit vom ruhigen Gegenhang vermessen wurde und später mehrmals erweitert wurde.

Die außergewöhnliche Dimension des Ereignisses ließ zusätzlich die Erstellung von Luftbildern zu Orientierungs- und Dokumentationszwecken notwendig erscheinen. Messungsbildflüge wurden am 28. Mai 1999,

am 4. Juli 1999 und am 19. Juni 2000 durchgeführt. Vom ersten und letzten Flug wurden Orthophotos mit Höhenschichtenlinien erstellt.

Der Vergleich eines Orthophotos aus dem Jahr 1997 mit dem Orthophoto vom 28. Mai 1999 zeigen im obersten Hangbewegungsareal (unterhalb des Feuerstätter Gipfels) bereits Horizontalverschiebungen bis zu ca. 30 m und zwischen Riesalpen und Verebnung oberhalb Alpenrose Horizontalverschiebungen bis zu 20 m. Es muß davon ausgegangen werden, daß bereits vor Sichtbarwerden der ersten Risse am 18. Mai 1999 massive Bewegungen im Oberhang stattgefunden haben.



*Lageverschiebung der Gebäude im Bereich der Riesalpen
Orthophoto vom 19. Juni 2000*

Geologische Untergrunderkundung

Um Kenntnisse über das Bewegungsbild, die Tiefenlage der Gleithorizonte und die Wasserwegigkeiten als wesentliche Grundlage für Maßnahmen zu erlangen, wurde der Geologe Mag. Jaritz Anfang Juni 1999 von der Wildbach- und Lawinerverbauung mit der Erstellung eines geologischen Gutachtens betraut (siehe Berichtsteil Jaritz - Geologie).

Technische Maßnahmen

Da durch die Bewegungen das Entwässerungssystem bereits nach wenigen Tagen total zerstört war, wurde während des Hauptbewegungszeitraumes versucht, die Oberflächenwässer – so weit das bei dem wasser- gesättigten und in Breiform übergegangenen Boden überhaupt möglich war – in einem provisorischem Entwässerungssystem dem Vorfluter Rubach zuzuführen. Erst nachdem sich die Bewegungen bis in den Frühherbst auf wenige cm pro Tag verlangsamt hatten, konnte die



Wiederherstellung eines geregelten Entwässerungssystems durch die WLW

Wiederherstellung eines geregelten Entwässerungssystems in Angriff genommen werden. Dazu war auch das Schließen von Geländerissen in kritischen Bereichen erforderlich, um das unregelmäßige Einsickern der Wässer in den Untergrund verhindern zu können.

Ausmaß der Schäden

Die Großhangbewegung erfasste bis Herbst 1999 eine Fläche von 1,4 km². Durch die Bewegungsbeträge, die zwischen 5 Metern (Bereich Alpenrose) und mehreren Hundert Metern (Bader Erd-/Schuttstrom) betragen, wurden fast alle Gebäude und alle Infrastruktureinrichtungen im Bereich des Rindberges zerstört oder stark beschädigt. Die Alpe Metzeler, welche selbst keine Bewegung zeigte, wurde durch oberflächliche Rutschmassen teilweise zerstört.

Zerstörte bzw. schwer beschädigte Objekte:

- 2 Kapellen
- 1 Gasthaus
- 1 Wohnhaus
- 1 Landwirtschaftliches Anwesen mit Wohn- und Wirtschaftsgebäude
- 2 Vorsäßgebäude
- 3 Alpegebäude (Wohn- und Wirtschaftsgebäude)
- 1100 lfm Landesstraße
- 5000 lfm Güter- und Forstwege
- Stromleitungen
- Wasser- und Abwasserleitungen

Die landwirtschaftlich genutzten Flächen sind zum Großteil nicht mehr oder nur sehr erschwert nutzbar. Die Waldflächen wurden ebenfalls sukzessive in Mitleidenschaft gezogen und die Bäume (ca. 9000 fm) in weiterer Folge unter schwierigsten Bedingungen geschlägert.



Alpe Vogt im Juli 1999

Rechtliche Probleme

Durch die Hangbewegungen kam es zur Verschiebung von Grundstücksgrenzen und Gebäuden bis auf Nachbargrundstücke. Für derartige Fälle gibt es in der österreichischen Rechtsprechung keine eindeutige Lösung. Ein von der Agrarbehörde eingeholtes rechtliches Gutachten verweist im wesentlichen darauf, dass eine sinnvolle Lösung nur von den Besitzern einvernehmlich getroffen werden kann.

Probleme für die Gemeinde und die Besitzer

Bereits die Aufgabenstellung für die notwendigen Evakuierungen war für die Kleingemeinde Sibratsgfall ein großes Problem. Platz für die Unterbringung von Mobilar, Maschinen und Geräten war nur spärlich vorhanden, und das Finden von Wohnungen für die Betroffenen gestaltete sich äußerst schwierig. Die lang anhaltenden Rutschbewegungen (Frühsommer 1999 bis Frühjahr 2000) mit den damit verbundenen Ungewissheiten stellten für die 47 betroffenen Grundbesitzer am Rindberg neben den finanziellen Ausfällen eine sehr große psychische Belastung dar, und die Gemeinde sowie deren Verantwortliche standen vor praktisch unüberbrückbaren Barrieren. Aus alleiniger Kraft kann eine Gemeinde dieser Größenordnung die anstehen-

den Probleme auf keinen Fall lösen, sodass nur die angebotene und zugesagte Hilfe von Bund, Land und anderen Organisationen und Institutionen den Menschen hier Mut, Zuversicht und Optimismus eingeben konnten. Die Gemeinde musste neben finanziellen Mitteln für die unmittelbar notwendigen Maßnahmen viele zusätzliche Arbeitsstunden investieren, wobei dies bis an die überhaupt noch zumutbaren Grenzen gegangen ist. Die Einnahmehausfälle für die touristischen Betriebe wie auch für die Land- und Forstwirtschaft am Rindberg bedeuten nicht nur für die unmittelbar betroffenen Unternehmer und Grundbesitzer einen enormen Verlust, sondern treffen auch die Gemeinde überaus hart. Gästetaxe, Tourismusabgabe und Grundsteuer bedeuten nur einen Teil dieses Einnahmehausfalles. Mit der Gefährdung von Arbeitsplätzen, der fehlenden Anlieferung von Milch und der damit reduzierten Produktion im örtlichen Sennereibetrieb, lassen sich die Sorgen fortsetzen, und die zusätzliche Belastung des Gemeindebudgets durch dringenden Geldmitteleinsatz erschwert die Situation erheblich.

Diese Katastrophe hat eine zusätzliche Sensibilisierung jener Dorfbewohner herbeigeführt, welche außerhalb des Gebietes Rindberg ebenfalls von Kriechbewegungen betroffen sind. In naher Zukunft wird es eine unaufschiebbare Aufgabe der Gemeinde sein, gemeinsam mit Land, Bund und den zuständigen Dienststellen möglichst jene Wege zu suchen, welche den Bewohnern in dieser Bergregion helfen, in relativer Sicherheit zu leben und trotz der Unbilden der Natur eine Zukunft zu sehen.

Anschrift der Verfasser:

Dipl.-Ing. Margarete Wöhler-Alge
 FORSTTECHNISCHER DIENST FÜR
 WILDBACH- UND LAWINENVERBAUUNG
 Sektion Vorarlberg
 Rheinstraße 32/4, 6900 BREGENZ

Reinhold Walser
 Bürgermeister der
 GEMEINDE SIBRATSGFÄLL
 Dorf 18, 6952 SIBRATSGFÄLL

Vermessung der Hangbewegung Rindberg

Ein Rückblick mit Ausblick

Wie alles begann ...

Es war Mittwoch, der 26. Mai 1999. Wir (Team des Landesvermessungsamtes Feldkirch – kurz „LVA“) führten bei der Tischlerei Nußbaumer in Sibratsgfall eine routinemäßige Kontrollmessung wegen der stattfindenden Hangbewegungen rund ums Gebäude durch, als ein sehr aufgeregter Amtsleiter überraschend vorbeikam. Dipl. Ing. Christoph Salzmann war in Begleitung von Dr. Walter Bauer und berichtete über eine riesige Hangrutschung in Rindberg und der dringend notwendigen Überwachungsmessungen.

Bereits zwei Tage später stand ich am gegenüberliegenden Hang auf der Gotalpe und vermaß ca. 20 vom Geologen ausgewählte Punkte über ganz Rindberg verteilt. Am nächsten Tag (Samstag) wiederholten wir die Messung und mit einem Taschenrechner konnte ich die ersten gemessenen Bewegungen ausrechnen. In der Alpenrose empfingen uns erwartungsvolle Gesichter der Bewohner von Rindberg. „Wie viel ist es gerutscht?“, lautete die bange Frage. Denn die Entscheidung des Geologen über eine Evakuierung hing u.a. auch von der Größe der Bewegung ab. Leider hatten wir keine guten Nachrichten...

Die Beobachtungen wurden täglich fortgesetzt, es gab keinen Sonntag, keinen Feiertag. Doch die verzweifelten Menschen in Rindberg hatten auch keinen sorgenfreien Tag. Das Bild, das sich uns täglich von der Gotalpe aus bot, war beängstigend und faszinierend zugleich. Der Berg floss wie ein zäher Teig zu Tal. Zum Teil verschoben sich die Messpunkte während der Messung innerhalb einer Stunde um 40 cm! Für die Messpartie am Hang war es unheimlich, wenn die Bäume sich wie in Zeitlupe neigten und manchmal auch wieder aufrichteten. In der Nähe der inzwischen evakuierten Gebäude war es am gefährlichsten. Ständig krachte es im Mauerwerk und Gebälk. Der Hang war mit tiefen, heimtückischen Spalten überzogen. Zum Glück gab es nie Verletzungen!

Von der Akut- zur Präzisionsmessung

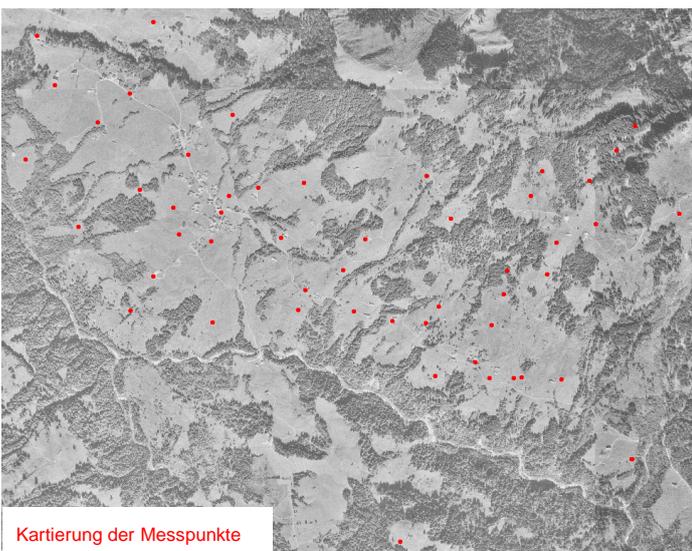
Erst nachdem alle Bewohner von Rindberg ihre Häuser verlassen hatten, dehnten sich die Zeitintervalle zwischen den Vermessungen auf eine Woche und später auf mehrere Wochen aus. Unsere Ergebnisse bekamen nun eher wissenschaftlichen Wert. Mit Abnahme der Bewegungen stieg die Anforderung an die Genauigkeit der Vermessung. Bislang waren z.B. meteorologische Einflüsse, wie Luftdruck und Temperatur unberücksichtigt geblieben. Für eine Distanzmessung quer über ein Tal mit Visuren bis zu 3 km können sich daraus jedoch Beeinflussungen von einigen Zentimetern ergeben.

Die inzwischen schiefen und wackeligen Pflöcke der Beobachtungspunkte wurden stabiler vermarkt. Bis zu 1,2 m lange T-Eisen wurden im Boden versenkt und an der Oberfläche mit einer guten Zentriermöglichkeit (Metallplatte mit kleinem Loch) versehen. Reflektorhaltungen wurden direkt an Gebäuden oder Baumstümpfen angebracht, sodass die Prismen ohne großen Aufwand fixiert werden konnten. Die WLV ließ in den schwer zugänglichen Gebieten die Reflektoren sogar dauerhaft montieren. Der Aufwand für die Vermessungen im Außendienst ging deshalb leicht zurück, während die Auswertungen im Büro immer umfangreicher wurden. Die gemessenen Distanzen mussten erst um die meteorologischen Werte korrigiert werden, bevor sie mit den übrigen Messdaten in einem Ausgleichsverfahren in Lage- und Höhekoordinaten umgerechnet wurden.

Trotz allem Aufwands lag die erzielbare Messgenauigkeit in vielen Fällen über der Bewegung des Hanges, der sich mittlerweile ziemlich stabilisiert hatte. Deshalb wurde Mitte des Jahres 2001 von Dipl. Ing. Martin Seebacher (seit März 2001 Amtsleiter des LVA) in Absprache mit den Geologen ein neues Messkonzept beschlossen.

Neues Messkonzept

Eine Erhöhung der Genauigkeit konnte nur durch die Umstellung der Messmethode von der terrestrischen Messung (Winkel und Distanzen) auf die satellitengestützte Vermessung (GPS) erreicht werden. GPS-Empfänger berechnen ihre Position auf der Erde über Signale, die von Satelliten ausgesendet werden. Um Laufzeitstörungen der Signale (z.B. Verzögerung durch die Atmosphäre) auszuschalten, wird mit zwei Empfängern gleichzeitig gemessen. Durch eine differenzielle Auswertung werden die Störungen eliminiert. Die Messmethode hat viele Vorteile, z.B. ist kein Sichtkontakt zu einem ruhigen Ausgangspunkt erforderlich, die Messgenauigkeit (+/- 1cm) ist bis zu 15 km distanzunabhängig und man kann auch bei Regenwetter messen (in meinen Augen allerdings ein eklatanter Nachteil!). Es gibt aber auch Einschränkungen in der Anwendung. Für ein gutes Ergebnis ist es wichtig, dass möglichst viele Satelliten zugleich empfangen werden können (mindestens 5). Es dürfen daher keine Sichthindernisse wie z.B. Gebäude oder Bäume in der Nähe des Messpunktes sein. Deshalb wurden viele der bisher verwendeten Messpunkte neu gesetzt. Im Zuge einer diesbezüglichen Begehung am 30. Juli 2001 mit den Geologen Dr. Walter Bauer und Mag. Wolfgang Jaritz wurden nicht nur alte Punkte versetzt sondern es kamen auch etliche neue hinzu. Das gesamte Beobachtungsgebiet wurde ausge-



dehnt: Die Ortschaft Sibratsgfall ist nun sowohl von neuen Punkten oberhalb der Landesstraße als auch von neuen Punkten Richtung Rubach umgeben. Scheib-

ladegg wurde miteinbezogen und Rindberg selbst erhielt an der Peripherie mehr Beobachtungsstellen. Insgesamt werden nun halbjährlich 48 Punkte beobachtet.

Die aktuellen Vermessungsprojekte

Die erste Messung der neuen Punkte fand bereits im Oktober 2001 statt. Damals wurden auch die alten Punkte mitvermessen, um eine Aussage über das bisherige Bewegungsverhalten treffen zu können. Weiters wurden die ruhigen Festpunkte (Pfeiler auf der Gothalpe, zwei Pfeiler in Sibratsgfall und ein Bolzen in Sippersegg) an das amtliche Festpunktfeld angeschlossen. Diese Anbindung an das in Vorarlberg gültige Koordinatensystem ermöglicht Katastervermessungen auch in den Rutschgebieten, in denen die amtlichen „Festpunkte“ eben nicht mehr fest sind.

Im August 2001 konnte das LVA den Einsatz von GPS auch einigen Grundbesitzern in Rindberg praktisch durchführen. In Zusammenarbeit mit der Agrarbezirksbehörde wurden die ursprünglichen Grenzverläufe abgesteckt, damit mit der Renaturierung begonnen werden konnte. Mit der alten terrestrischen Methode wäre es unmöglich gewesen, rund 100 Grenzpunkte in diesem unübersichtlichen Gelände in zwei Tagen abzustecken! Im Frühjahr wird diese Arbeit fortgesetzt.

Für das Forschungsprojekt Geomonitoring Rindberg (Kombination von geoelektrischen und geodätischen Dauerbeobachtungen) wird das LVA nach der Schneeschmelze tätig werden. Für diese Zeit ist auch die erste Folgemessung der neuen Messpunkte geplant. Um die langen Anfahrtszeiten zu umgehen, wird sich unser Messteam wieder in Sibratsgfall einquartieren. Denn schließlich erhielten wir auch vom Tourismusbüro nach der 4-tägigen Messperiode im Oktober 2001 eine nette Weihnachtskarte mit dem Wunsch nach einem baldigen Wiedersehen!

Anschrift der Verfasserin:

Martina Mittelberger
 Amt der VbG. Landesregierung
 Landesvermessungsamt Feldkirch
 Johannitergasse 6, 6800 FELDKIRCH

Hangbewegung Rindberg

Geologie

1. Einleitung

Im Frühjahr 1999 wurde die Parzelle Rindberg der Gemeinde Sibratsgfall (Vorarlberg) von einer ausgedehnten Hangbewegung erfasst, von der bis Ende 2000 eine Fläche von rd. 1,4 km² betroffen war.

Das Ziviltechniker-Büro MOSER/JARITZ wurde seitens der Wildbach- und Lawinverbauung/Sektion Vorarlberg mit einer geologischen Beurteilung des Hangbewegungsareals beauftragt. Mittels des vorgeschlagenen Untersuchungsprogramms (geologische und hydrogeologische Kartierung, Aufschlussarbeiten, geophysikalische Untersuchungen, Laboruntersuchungen, etc.) sollten die möglichen geologischen Ursachen erfasst und die Grundlagen für allfällige technische Maßnahmen erarbeitet werden.

Im Hangbewegungsareal wurden im Jahr 1999 drei geologische Geländeaufnahmen durchgeführt (Mai, Juli und November). Wie sich zeigte, waren bereits Ende Mai alle wesentlichen Bewegungssysteme entwickelt. Es konnten drei Hauptanbruchgebiete unterschieden werden. Das Anbruchgebiet Feuerstätter auf rd. 1450 m (1), das Anbruchgebiet Sommerstadel auf rd. 1280 m (2) sowie das Anbruchgebiet Vogt auf rd. 1070 m (3).



2. Lage

Das Hangbewegungsareal befindet sich an der orographisch rechten Talflanke des Rubachtales, östlich der Gemeinde Sibratsgfall. Das höchstgelegene Anbruchgebiet der Bewegung liegt in der Kammregion des Höhenzuges zwischen Renkknie und Feuerstätter Kopf auf ca. 1450 m ü.A. Von der Bewegung ist die gesamte, mit durchschnittlich 12° bis 15° geböschte Talflanke bis zum Vorfluter (Rubach, ca. 840 m ü.A.) betroffen.

3. Geologischer Rahmen

Im Rubachtal treten vier tektonische Decken¹ der Ostalpen auf kurzer Strecke nebeneinander auf. Dazu zählen neben dem *Helvetikum* und dem *Rhenodanubischen Flysch* auch die *Liebensteiner-*, und die *Feuerstätter Decke*. Die ehemals benachbarten Sedimentationsräume wurden im Zuge der alpidischen Gebirgsbildung übereinander gestapelt, wobei die Feuerstätter Decke aufgrund ihres bereits sedimentologisch äußerst heterogenen und zum Teil Feinkorn dominierten Gesteinsbestandes (Wildflysch) als Hauptträger der Deckenüberschiebung fungierte.

Das Hangbewegungsareal kommt zur Gänze im Bereich der Feuerstätter Decke zu liegen, die von vier Gesteinseinheiten aufgebaut wird. Dies sind: die Serie mit Feuerstätter Sandstein, die Junghansen Formation, die Schelpen Serie und die Aptychen Schichten.

Ursprünglich als stratigraphische Abfolge gedeutet (RICHTER 1983), werden die Gesteinsserien heute verschiedenen Faziesräumen am tektonisch zergliederten, europäischen Kontinentalabhang, bei gleichem altpaläozoischen Bildungsalter, zugeordnet (FESSLER 1992).

¹ Fachbegriffe werden im Glossar erläutert

4. Gesteinsbestand im Hangbewegungsareal

4.1. Junghansen Schichten

Die Junghansen Schichten werden im großen Anbruchareal Feuerstätter (1) aufgeschlossen. Unter Jung-



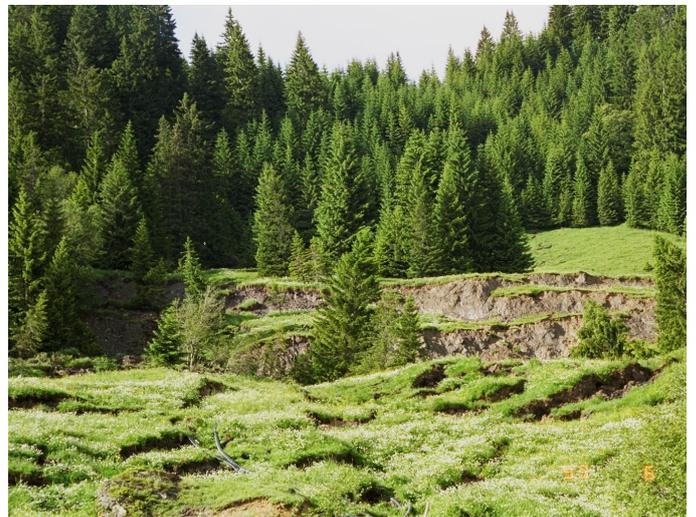
hansen-Formation wird eine stark tektonisierte, verschuppte und zerscherte Wechselfolge von schwarzen Peliten und Tonschiefern mit wechselndem Sandgehalt, dunklen Mergeln, unterschiedlichen Psammiten, sowie Konglomeraten und Breccien zusammengefasst.

Im unmittelbaren Anbruchareal der von Junghansen Schichten aufgebauten Bereiche dominieren staffelförmige Rotationsgleitungen. Im Anbruch Feuerstätter, dort, wo Oberflächenwasser kontinuierlich in den Anbruch eindringen kann, gehen die Junghansen Schichten rasch in eine hochmobile Form über. Der Materialabtransport vollzieht sich in Form von Erdströmen und Muren [s. Abb. unten].



4.2. Schelpen Serie

Die Schelpen Serie, seit ZACHER (1990) und FESSLER (1992) der Feuerstätter Decke zugeordnet (früher Liebensteiner Decke), setzt sich lithologisch aus grauen bis bräunlichen Tonmergeln und hellbraun bis ocker anwitternden Sandsteinen und Sandkalken zusammen. Die Schelpen Serie zeigt lithologische Anklänge zu den Gesteinen der Junghansen Schichten. Eine Differenzierung zu letztgenannten ist im Gelände meist schwierig. Gesteine der Schelpen Serie bauen vermutlich großräumige Areale im Anbruchbereich Sommerstadel (2) auf.

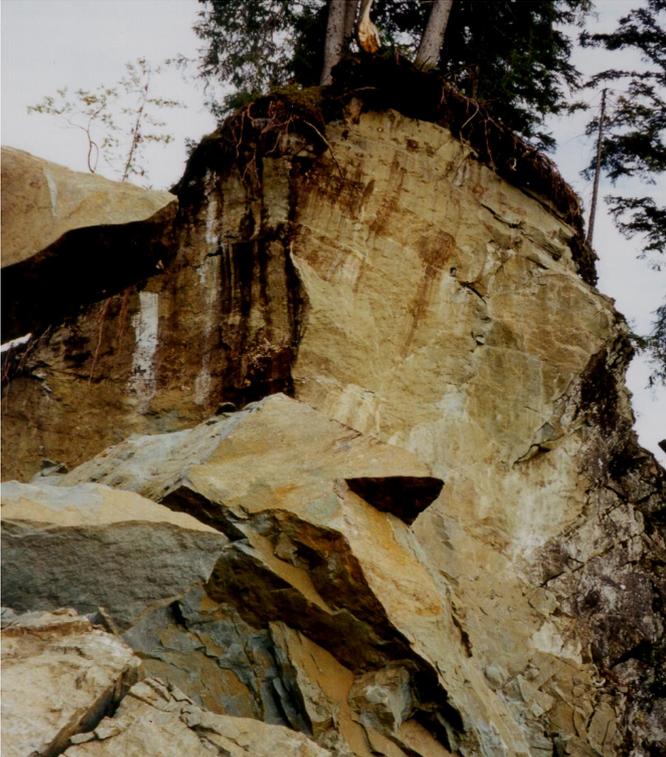


Das Verformungsverhalten der Gesteine der Schelpen Serie ähnelt jenem der aus Junghansen Schichten aufgebauten Bereiche. Rotationsförmige Staffelbrüche [s. Abb. oben] im unmittelbaren Anbruchareal werden hangabwärts rasch von plastischen Deformationen mit großräumigen Aufwölbungen und Absackungen abgelöst. Bereits wenige 100 Meter unterhalb des Anbruchareals Sommerstadel löst sich die abgesackte Masse oberflächennah in Form eines Erdstromes auf.

4.3. Feuerstätter Sandstein

Bei der Serie mit Feuerstätter Sandstein handelt es sich um einen dichten, glaukonithaltigen Sandstein mit scharfkantigem Bruch. Stellenweise treten auch gröbere Einschaltungen mit Korndurchmessern bis zu 4 cm auf. Eine Schichtung ist, wenn überhaupt vorhanden, meist

sehr undeutlich entwickelt, was dem Gestein ein massiges Aussehen verleiht. Im Hangbewegungsareal sind Bereiche, die von Gesteinen der Serie mit Feuerstätter Sandstein aufgebaut werden, zumeist kleinräumige, inselartige Vorkommen [z.B. im Bereich Rosslöcher (4)].



Das mechanische Verhalten der Serie mit Feuerstätter Sandstein wird von spröde brechender Deformation dominiert. Tiefe Zerrspalten und Kluftgassen sind charakteristische morphologische Phänomene im Hangbewegungsareal.

4.4. Aptychen Schichten

Bei den Aptychen Schichten handelt es sich um meist hellgraue, dünnbankige Mikrite, deren Farbenspektrum mit fließenden Übergängen von grünlich bis rot reicht. Sie treten in Wechsellagerung mit dunkel- bis hellgrauen Mergeln, teilweise rötlichen bis grünlichen Tonen und Tonmergeln auf. In den rötlichen Kalkbänken sind öfters Hornsteinkonkretionen eingelagert, die als bis zu 15 cm dicke, rote, grüne oder schwarze Horizonte auftreten. Die Aptychen Schichten bauen die Südflanke des Feuerstätterkopfes auf. Im Hangbewegungsareal wird ein großräumiges Gebiet im Bereich des Anbruchs Lustenauer Riesalpe (5) von Aptychen Schichten dominiert.

Das große Anbruchsystem südlich der Lustenauer Riesalpe [Anbruchkessel Europa Kapelle] ist in Aptychen Schichten angelegt.



Der bereits vor der aktuellen Bewegung vorhandene, rd. 40 m hohe Abbruch reagierte im Zuge der jüngsten Bewegung mit Rückböschungen in Form ausgedehnter Felssturzereignisse. Das am Böschungsfuß und noch weit sich Richtung Tal ausbreitende Blockfeld wird von Kluftkörpern mit $0,02 \text{ m}^3$ Größe dominiert. An morphologischen Phänomenen konnten weiters kleinräumige staffelförmige Absetzungen, sowie antithetische Strukturen als Reaktion auf Stauchungserscheinungen beobachtet werden.

4.5. Lockergestein

In beinahe allen Anbrüchen im mittleren und unteren Hangabschnitt werden Lockergesteine aufgeschlossen. Die Verbandsbeziehungen der meisten Festgesteine sind aufgrund deren geringen Verwitterungsresistenz zumeist völlig zerstört und aufgelöst. Die Matrix der Feinkorn dominierten Lockermassen wird aus den total entfestigten Mergeln, Tonmergeln und Tonsteinen aufgebaut. Darin eingebettet findet sich Blockwerk aus härteren, gegen Verwitterungseinflüsse resistenten Gesteinen (Sandsteine, Kalke und Kalkmergel). Einzig in jenen Bereichen, wo Feuerstätter Sandsteine den Untergrund aufbauen sind noch größere zusammenhängende Felsareale vorhanden. In der, im zentralen mittleren Hangabschnitt abgeteuften Erkundungsbohrung wurde eine Mächtigkeit der Lockersedimentdecke von rd. 47 m festgestellt.

An Lockergestein-Bodenproben konnte SCHÜTZ (2000) Kornzusammensetzungen mit bis zu 65 Gew.% Schluff/Ton mit einem Wasseraufnahmevermögen von 80 Gew.% feststellen.

Das mechanische Verhalten der mächtigen, Feinkorn



dominierten Lockergesteine des mittleren und unteren Hangabschnittes ist überwiegend von plastischen Verformungen geprägt. Großräumige Aufwölbungen [s. Abb. unten], Absetzungen, sekundäre Anbruchsysteme oder das Auftreten von Erd-/Schuttströmen sind charakteristische morphologische Phänomene in diesem Hangabschnitt.



5. Bewegungsgeschwindigkeit

Die Hangbewegung Rindberg wurde am 18.05.99 kurz vor Bestoßung der Almflächen im Bereich der Lustenauer Riesalpe (1250 m ü.A.), sowie der Wilds Riesalpe (1225 m ü.A.) in Form von Rissbildungen in der Vegetationsdecke erstmals bemerkt. Bereits am 19.05.99 wurden erste Bewegungsanzeichen im Unterhang in Form von Gebäudeschäden beobachtet. Die Bewegung beschleunigte sich rasch, wobei der größere Teil der installierten Messpunkte (insgesamt 49) sich am Beginn der Hangbewegung in einem maximalen Geschwindigkeitsbereich zwischen 9 und 35 cm/Tag talwärts bewegte. Der Höhepunkt der Bewegung wurde zwischen dem 10. bis 15 Juni 1999 festgestellt. In den ersten Wochen der Bewegung wurde an mehreren Messpunkten im Unterhang eine Aufwärtsbewegung von insgesamt bis zu 0,5 m beobachtet.

Ab Mitte Juni kam es zu einer sukzessiven Abnahme der Bewegungsgeschwindigkeit mit Ausnahme der Schuttstromareale. Im Unterhang entwickelten sich ab August größere sekundäre Anbruchsysteme, deren Bewegungsraten sich erst ab Oktober kontinuierlich verringerten.

6. Vorangegangene Ereignisse

Die Hangbewegung des Jahres 1999 erfasste einen, bereits durch mehrere vorangegangene Hangbewegungsereignisse geschwächten Hang. Dies wurde im Zuge der geologisch-morphologischen Kartierung des weiteren Hangbewegungsareals in Form alter Anbruchkanten und Zerrspaltensysteme ersichtlich. Mittels C-14 Datierungen an Baumfunden innerhalb der bewegten Lockermassen konnten die Ergebnisse der Kartierung bestätigt werden. Absolute Altersdatierungen mit der C-14-Methode wurden an 8 Baumproben vom INSTITUT FÜR ISOTOPENFORSCHUNG UND KERNPHYSIK – Universität Wien [Proben VRI-2005-10] durchgeführt. Dabei zeigten 4 Proben aus unterschiedlichen Fundstellen ein Radiokar

bonalter von rd. 4530±60 a BP (~ cal. BC 3200). Die Radiokarbonalter der übrigen Proben schwankten zwischen einem Zeitraum von 670 a BP bis 2030 a BP (~ cal. BC 100-AD 50/AD 770-890/AD 1280-1390).



7. Ursache

Das geologische Inventar der Talflanke ist maßgebend für die jüngsten und auch länger zurückliegenden Hangbewegungen im weiträumigen Untersuchungsraum verantwortlich. Bei der Zusammenschau der morphologischen Gegebenheiten mit den Untergrundverhältnissen wird deutlich, dass alle primären Anbruchareale (Anbruchbereich Feuerstätterkopf, Anbruchbereich Sommerstadel, Anbruchbereich Vogt) in den veränderlich-festen² Gesteinsserien der Feuerstätter Decke (Junghansen Schichten und Schelpen Serie) situiert sind. Junghansen Schichten und Schelpen Serie, bzw. die in diesen Serien vorherrschenden Tonschiefer- und Tonmergelabfolgen weisen eine geringe

² Gesteine deren mechanische Festigkeit vom Wassergehalt abhängt. Sie weichen nach 12 stündiger Wasserlagerung im Gefüge auf.

Verwitterungsresistenz auf. Dieser Prozess wird durch Wasserzutritte beschleunigt. Das stark ausgeprägte Trennflächengefüge (Schichtung, Klüfte, Scher- und Schieferungsflächen) kompensiert die grundsätzlich geringe Materialdurchlässigkeit der Ausgangsgesteine und ermöglicht eine tiefgreifende, weiträumige Durchfeuchtung. Zudem ist der gesamte Böschungskörper durch vorangegangene Bewegungen bereits gestört und geschwächt und eröffnet auf diese Weise zusätzliche Wasserwegigkeiten.

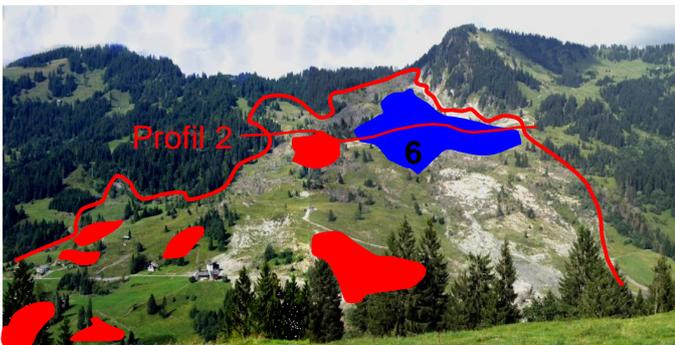
Die Wasserzutritte im Bereich des "Festgesteins" führen zu einer Herabsetzung des Scherwiderstandes an den Trennflächen bzw. begünstigen die Auflösung des Trennflächengefüges. Der Gesteinskörper reagiert mit brechender Deformation. Es kommt im Anbruchbereich zu staffelförmigen Absetzungen, Rotationsgleitungen, etc. Hangabwärts lösen sich die auf diese Weise abgetrennten Großluftkörper kontinuierlich auf und zerfallen rasch zu feinteilreichen Lockermassen. Diese werden durch verschiedenste Prozesse (Hangkriechen, Rutschungen, Muren, etc.) umgelagert und im mittleren und unteren Hangabschnitt akkumuliert. Innerhalb dieser Materialien vollzieht sich die Bewegung kriechend bis fließend, d.h. durch Korn-an-Korn-Bewegung quasi bruchlos in der Dimension der bewegten Masse.

8. Bewegungsmechanik

Bruchlose, kaum wahrnehmbare Verformungen der „angewitterten“, veränderlich-festen Gesteine, sowie innerhalb der Lockergesteinsdecke sind im Hangbewegungsareal bereits vor der aktuellen Bewegung als sog. Vorbruchbewegungen anzunehmen. Diese kontinuierlichen, sehr langsamen, kaum merkbar ablaufenden Kriechbewegungen bestimmter Hangareale führten zu lang anhaltenden Spannungszuständen, die sich in der Vergangenheit nur in Form von Rissbildungen entlang der Landesstraße oder durch nachzuspannende oder überspannte Stromleitungen äußerten. Schneller ablaufende Bewegungen wie im Frühjahr 1999 sind an klimatische Sondersituationen gebunden.

Vor einem derartigen Hintergrund sind die großen Niederschlagsmengen im Vorfeld des Hangbewegungsereignis im Jahr 1999 (im Mai fallen 520,6 mm Regen – entspricht ca. 21% des Jahresniederschlages – zu bewerten. In Verbindung mit der rasanten Schneeschmelze tragen sie zur Wassersättigung des Untergrunds bei.

Die beschleunigte Kriechbewegung führte zu einem rasanten Massenverlust im Oberhang (Bruchbewegungen), während der Mittel- und Unterhang vorerst mit langsamem Massenzugewinn reagierte. Der Massenzuwachs und das damit verbundene Hervorwölben des Unterhanges wurde durch die Vermessungsdaten bestätigt. So wiesen die in diesem Hangabschnitt situierten Vermessungspunkte neben einer festgestellten Lageänderung auch einen Höhengewinn von 0,6 m bzw. 0,24 m während der ersten beiden Monate auf. Der Massenverlust im Oberhang vollzog sich überwiegend in Form brechender Deformation durch Rotationen und Staffelbrüche. Im Mittel- und Unterhang dominierten aufgrund des hohen Feinteilgehaltes der Gesteine plastische Verformungen. Der sich vorwölbende, im Verhältnis zu den Materialeigenschaften der ihn aufbau-

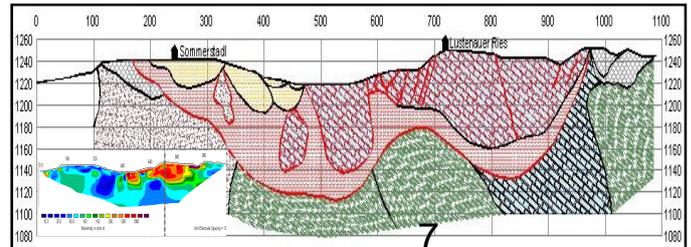


enden Gesteine übersteilte Unterhang baute das Ungleichgewicht in Form sekundärer, im Verhältnis zur Hauptbewegung erst sehr spät einsetzender Anbruchsysteme, sowie flachgründiger Hangbewegungen vom Typ Erd-/Schuttstrom ab.

Dieses vergleichsweise einfache mechanische Bild (Betrachtung der Talflanke als einheitlichen, mehr oder weniger homogenen Körper) wird durch den komplizierten, geologisch-tektonischen Bau erschwert. Im verformten Böschungskörper stecken mehrere, sich starr, mechanisch spröde verhaltende Teilkörper mit gänzlich anderem Versagensmuster.

Dabei können kleinräumige, ein- und auflagernde Körper aus Feuerstätter Sandstein (z.B. Bereich Rosslöcher; Kolb, Ochensberger, Vogt; s. Abb. oben) sowie der großräumig auflagernde Körper der Aptychen Schichten (Bereich Lustenauer Riesalpe, s. Abb. oben) unterschieden werden.

Mittels geophysikalischer Untersuchungen wurde ver-



sucht, Aufschlüsse über den Tiefgang der Bewegung zu erhalten, bzw. die mechanisch sich unterschiedlich verhaltenden Teilkörper auch gegen die Tiefe abzugrenzen.

Im höchstgelegenen der fünf gemessenen Profile [Profil 2: Lustenauer Riesalpe – Sommerstadel] konnte in den Messergebnissen der als deutlich hochohmig auftretende Körper der Aptychen Schichten [6] gegenüber seinem offensichtlich Feinkorn dominierten, eventuell wassergesättigten Untergrund (Junghansen Schichten? [7] in einer Maximaltiefe von rd. 80 m scharf abgegrenzt werden. Legt man diesen Messergebnissen die Bewegungsstrukturen der Oberflächengeologie zugrunde, ist von einem translationsförmigen Abgleiten des gesamten Aptychen Schichten Komplexes [6] im Bereich der Lustenauer Riesalpe auf seiner Feinkorn dominierten, vermutlich stark wassergesättigten Unterlage auszugehen.

9. Projektgebiet

Das gegenständliche Forschungsprojekt hat als Zielsetzung mittels eines hydrogeologischen, hydrologischen und geophysikalischen Beobachtungsnetzes frühzeitig die sich ändernden und für die Kinematik von Hangbewegungen relevanten Bodenparameter erfassen zu können. Es sollte damit ein Instrumentarium entwickelt werden, das eine zuverlässige Prognose sich anbahnender Untergrundbewegungen zulässt.

Bei der Auswahl eines aus geologischer Sicht erfolgversprechenden Testgebietes im Hangbewegungsareal Rindberg waren folgende Kriterien ausschlaggebend:

- aktiver Hangbewegungsabschnitt mit Bewegungsraten von mehreren cm/Jahr
- rasch wechselnde Bewegungsgeschwindigkeiten die überwiegend durch den Wassergehalt des Untergrundes gesteuert werden
- Untergrundverhältnisse die ein hohes Wasseraufnahmevermögen besitzen
- hydrogeologisch messbare und maßgebliche Einflussfaktoren für das Testgebiet im Untersuchungsraum

Die Auswahl fiel auf das größte und aktivste Erd-/Schuttstromareal im Hangbewegungsbereich Rindberg: der sg. Bader Erd-/Schuttstrom [s. Abb. unten].



Bereits zu Beginn der Katastrophe hat sich das Bader Erd-/Schuttstromsystem als eines der ersten Systeme deutlich herausgebildet und wies augenscheinlich die höchsten Bewegungsraten auf. Die anfänglichen Bewegungsgeschwindigkeiten lagen bei > 1 m/Tag und verringerten sich bis dato auf wenige dm/Monat. Innerhalb des Erd-/Schuttstromes haben sich im Verlauf der Bewegung interne, schneller bewegende Erd-/Schuttstromsysteme mit eigenem Anbruchkessel und eigenen Scherflächen herausgebildet. Dabei kam es zwischen zwei Geländebegehungen (18.06.99 und 29.06.99) zu einer bergseitigen Weiterentwicklung und Rückböschung dieser internen Anbrüche um rd. 60 m.

Das Schuttstrommaterial ist durch weitgestufte Kornmische von Ton bis Blockwerk charakterisiert. Als Grobkornkomponenten treten fast ausschließlich Aptychenschichten Bruchstücke aus dem Anbruchkessel Lustenauer Riesalpe [s.o.] auf.

Der Wassergehalt des Erd-/Schuttstromsystems und die daraus resultierenden Bewegungsgeschwindigkeiten werden maßgeblich durch einen stark schüttenden Quellhorizont (durchschnittlich 10-15 l/s) im westlichen, höchst gelegenen Anbruchkessel des Erd-/Schuttstromes gesteuert. Der Quellhorizont tritt unterhalb des Blockfeldes des Anbruchkessels Lustenauer Riesalpe auf und ist an das Ausstreichen von Jung-hansen Schichten gebunden.

Die installierten Meßsysteme innerhalb und außerhalb des Erd-/Schuttstromareals werden sowohl die Schüttungsmengen des Quellhorizontes, die Wasserführung der maßgeblichen Oberflächengerinne, die jeweiligen klimatischen Daten, sowie die für die Fragestellung wichtigen Bodenparameter [Widerstandsverteilung abhängig vom jeweiligen Wassergehalt] erfassen.

10. Meßsysteme

10.1. Geophysik

Das installierte geoelektrische Meßsystem erfasst Verteilungen des spezifischen elektrischen Widerstandes, sowie natürlicher elektrischer Potentialverteilungen im Untergrund [s. dazu Berichtsteil Supper]. Es kann davon ausgegangen werden, dass Widerstands- bzw. Potentialänderungen im Untergrund, welche im Vorfeld eines Rutschereignisses auftreten in erster Linie durch eine Änderung des Wassergehaltes und/oder Porenvolumens hervorgerufen werden. Um einen Zusammenhang zwischen den Messergebnissen des geoelektrischen Systems und klimatischen und hydrologischen Parametern herstellen zu können, ist zusätzlich die Einrichtung eines klimatischen und eines hydrologischen Meßsystems erforderlich.

10.2. Klimatisches Meßsystem

Die klimatischen Einflussfaktoren Niederschlag und Lufttemperatur, welche Auskunft über das Wasserange-

bot im Einzugsgebiet des Untersuchungsraumes geben, werden bei der Messzentrale in der Nähe des Hauses Kolb gemessen und die Daten an die Messzentrale weitergeleitet.

Die auf Radarmessung basierende **Schneemessanlage** wird von der klimatischen Messstation getrennt und im Oberhangbereich am Westfuß des Feuerstätterkopfes (Anbruchbereich Feuerstätterkopf) errichtet, da hier aufgrund der Bodenbeschaffenheit (sehr durchlässiges Hangschuttmaterial) mit großen Einsickerungsraten gerechnet werden muss und wesentlich größere Schneehöhen erwartet werden als bei der Klimastation.

10.3. Hydrologisches Meßsystem

Das hydrologische Meßsystem soll sowohl die Schüttungsmengen des Quellhorizontes im Bader Erd-/Schuttstrom, sowie die Wasserführung der maßgeblichen Oberflächengerinne im unmittelbaren Untersuchungsgebiet erfassen. Mit den dabei gewonnenen Daten sollen Rückschlüsse über das jeweilige Wasserdargebot für den Erd-/Schuttstrom gewonnen werden.

Der **Oberflächenabfluss** wird im Rosslöchergraben auf Höhe der Baderquelle und im Steffelgraben bei der Landesstraßenquerung erfasst. In einem Betonrohr wird mittels Ultraschallmessung die Abflusshöhe festgestellt und daraus Durchfluss- bzw. Abflusswerte errechnet.

In einer Stahlwanne, deren Ausfluss als Thompson-Wehr ausgeführt ist, wird die **Quellschüttung der Baderquelle** gemessen. Neben der Quellschüttung werden die Wassertemperatur und das Leitvermögen des Wassers festgestellt, um daraus auf Veränderungen im Untergrund schließen zu können.

Die Auswahl der Messstellen [einerseits Hauptzubringer zum Erd-/Schuttstrom [Messstelle Rosslöcher, Quelle Bader], andererseits Hauptabfluß im Erd-/Schuttstrom [Messstelle Steffelgraben] ermöglicht den größten Teil des Oberflächenwasserangebotes, mögliche Verlustgrößen zwischen Zu- und Ablauf, oder die Menge weiterer diffuser Zuflüsse abschätzen zu können.

Die Wassersättigung des Untergrundes wird entlang der geoelektrischen Profillinie mittels Spezialtensiometer in

Edelstahlausführung gemessen. Dazu wurden an drei Stellen in rd. 4 m Tiefe Feuchtesonden, die die Saugspannung des Bodens, abhängig vom jeweiligen Wassergehalt messen, vergraben. Die damit gewonnenen Werte sollen als relative Kalibrierung der geoelektrischen Messdaten dienen und zusätzlich Aufschlüsse über den jeweiligen relativen Wassergehalt des Untergrundes entlang der Messstrecke ermöglichen.

Anschrift des Verfassers:

Mag. Wolfgang Jaritz
MOSER/JARITZ ZT-GESELLSCHAFT
Münzfeld 50, 4810 GMUNDEN

Geomonitoring Rindberg

Das geophysikalische Voruntersuchungsprogramm am Rindberg

1. Bodengeoelektrik

Ausgangspunkt dieses Projektes war die Entscheidung des Forsttechnischen Dienstes f. Wildbach und Lawinerverbauung, Sektion Vorarlberg, geophysikalische Untersuchungen zur Erkundung des Rutschkörpers Rindberg bei Sibratsgfall durchzuführen. Diese Untersuchungen sollen Aufschluss über Aufbau, Struktur und Tiefenerstreckung des Rutschkörpers geben.

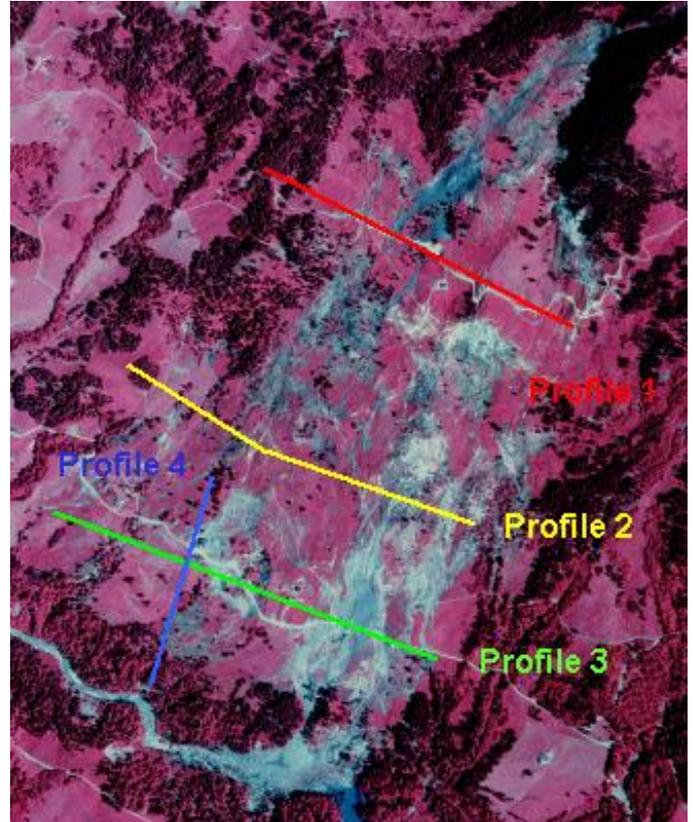
Als Methode wurde die Gleichstromgeoelektrik gewählt (Beschreibung siehe unten), da dieses Verfahren sehr sensibel auf Unterschiede im Wassergehalt des Untergrundes reagiert.

Bei der geoelektrischen Messmethode wird die Verteilung des spezifischen elektrischen Widerstandes im Untergrund zerstörungsfrei gemessen. Als Ergebnis erhält man einen zweidimensionalen Profilschnitt des Widerstandsaufbaues des Untergrundes, der geologisch interpretiert werden kann.

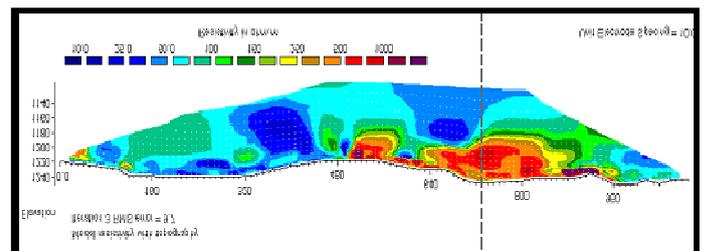
Um das Potential der Gleichstromgeoelektrik zur Erkundung der vorliegenden Untergrundverhältnisse zu testen, wurde im August 99 eine Testmessung durchgeführt.

Allgemein konnte nach Auswertung der Testmessung festgestellt werden, dass diese Messmethode gut zur Untersuchung des Rutschkörpers Sibratsgfall geeignet ist. Es ließen sich verschiedene Bereiche im Rutschkörper gegeneinander in bezug auf die Tiefenerstreckung (Erd-/Schuttstrom/tiefgründige Rutschzone) gut abgrenzen.

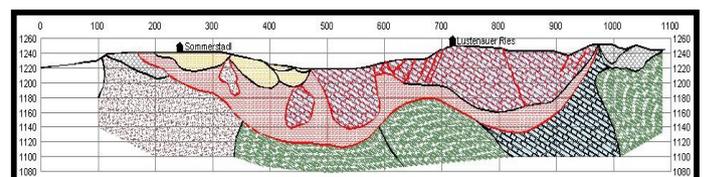
Nach Diskussion im Anschluss an die Testmessung wurde beschlossen, im Bereich des Rutschkörpers Rindberg weitere geoelektrische Erkundungen durchzuführen.



Lage der Geoelektrikprofile



Ergebnisse der Geoelektrikinversion auf Profil 1



Interpretation der Geoelektrik auf Profil 1 (w. Jaritz)

2. Aerogeophysik

Um einen Überblick über die Untergrundverhältnisse im Gesamtbereich von Sibratsgfäll als Basis für weitere Detailuntersuchungen zu bekommen, wurde eine aero-geophysikalische Befliegung durchgeführt.

Die Ergebnisse dieser Befliegung werden momentan ausgewertet und interpretiert. Als Beispiel sei hier das Ergebnis der Gammastrahlenmessung – Energiebereich Kalium – dargestellt.

Die Untergrundstruktur kann sich in unterschiedlichster Weise in den geophysikalischen Messergebnissen widerspiegeln. Dabei ist zu bedenken, dass ein entsprechendes Resultat von folgenden Parametern abhängig ist:

- Physikalische Eigenschaften der gesteinsbildenden Mineralien, deren Poren- bzw. Kluftraum sowie deren Füllungen
- Auflösungsvermögen der verwendeten Messverfahren.

Zu den wichtigsten, für aero-geophysikalische Messungen relevanten physikalischen Eigenschaften von Mineralien bzw. Gesteinen zählt unter anderem die **elektrische Leitfähigkeit**, die **magnetische Suszeptibilität** (Gehalt an magnetischen Mineralien) und die **natürliche Radioaktivität** (Funktion des Gehalts an radioaktiven Mineralien). Weist nun eine Gesteinsserie einen signifikanten Unterschied bezüglich der eben erwähnten physikalischen Eigenschaften gegenüber den sie umgebenden Gesteinen auf, so können entsprechende Messmethoden zu deren Ortung herangezogen werden.

Weiters ist das Auflösungsvermögen des verwendeten Messverfahrens entscheidend. Eine zu untersuchende Gesteinsabfolge muss solch eine Mindestgröße bzw. Position aufweisen, dass noch ein nutzbares Messsignal erzeugt werden kann. Dabei muss berücksichtigt werden, dass dabei der Messpunkttraster (Profilabstand, Messpunktabstand, Flughöhe etc.) einen sehr wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis hat. Aus wirtschaftlichen Überlegungen kann der Profil- und Messpunktabstand nicht beliebig verkleinert werden. Daher ist es durchaus

möglich, dass bei einer bestimmten Messrasterdimension eine Gesteinsserie nicht festgestellt werden kann, weil sie entweder zu klein ist oder zu tief liegt bzw. der physikalische Kontrast zu gering ist.

Beim Flugprogramm im Messgebiet Sibratsgfäll wurde der Profilabstand mit 200 m festgelegt, im Bereich der Rutschung Rindberg wurde auf 100 m verdichtet. Der Messpunktabstand entlang der Profile ist von der jeweiligen Fluggeschwindigkeit abhängig, so z.B. beträgt die Datenabtastrate für die Radiometrie 1 Sekunde. Dies entspricht einem mittleren Punktabstand von ca. 30 m. Die elektromagnetischen Messwerte werden 10 mal die Sekunde abgefragt; d.h. der Messpunktabstand beträgt in diesem Fall etwa 3 m. Die Abtastrate für magnetische Messungen beträgt ebenfalls 10 Werte pro Sekunde, somit erhält man alle 3 m einen magnetischen Messwert.

Trotz aller oben angeführten Einschränkungen sind aero-geophysikalische Messverfahren bei vielen Untergrunduntersuchungen gut geeignet, entsprechende geowissenschaftliche Grundlagen zu erstellen, da häufig nicht nur der direkte Hinweis auf hoffige Gebiete von Bedeutung sein kann, sondern auch der indirekte. Die indirekte Beurteilung von geophysikalischen Daten im Hinblick auf Geologie, Strukturen, Tektonik etc. wird in Zukunft stark an Bedeutung gewinnen.

Die im Raum Sibratsgfäll auftretenden Gesteinsserien reichen von Schottern, mehr oder minder schluffigen Sanden und Tonen bis zum kristallinen Grundgebirge, wobei der Wassergehalt eine wichtige Rolle bei der Auslösung von Rutschungen in diesem Gebiet spielt. Für solche geologische Bedingungen empfiehlt sich die Anwendung der

- **Elektromagnetik.**

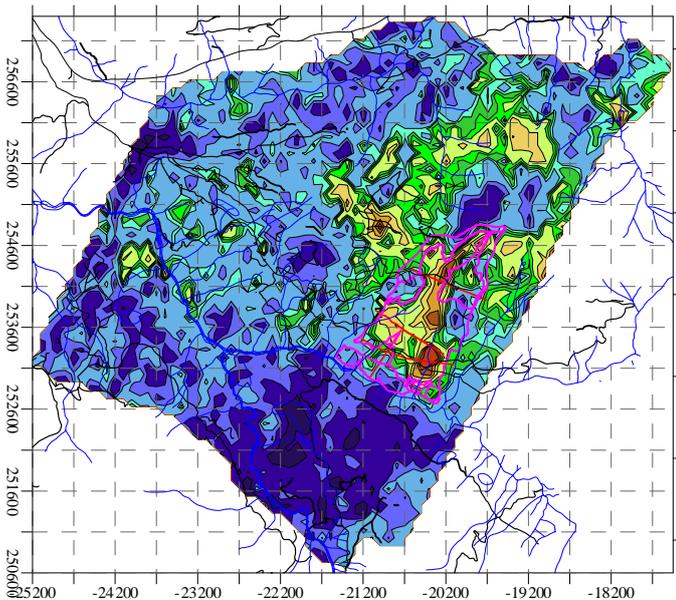
Als begleitendes Messverfahren sollte auch die

- **Gammastrahlenspektrometrie** (Radiometrie) und die
- **Magnetik**

zum Einsatz kommen.

Elektromagnetik: Bei der elektromagnetischen Messmethode werden auf induktivem Weg Wirbelstromsysteme im vermessenen Untergrund erzeugt. Diese sind eine Funktion der Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit. Man kann daher umgekehrt aus den den Wirbelströmen entsprechenden magnetischen Sekundärfeldern und über bestimmte Modellannahmen auf die elektrischen Verhältnisse im Messgebiet schließen.

Gammastrahlenspektrometrie: Natürlich radioaktive Isotope, die in höheren geochemischen Gehalten auftreten können, sind für die Elemente Kalium, Uran und Thorium bekannt. Mit entsprechenden Messmethoden kann nun auf die Verteilung dieser drei Elemente im Untersuchungsgebiet geschlossen werden. Die Gammastrahlenspektrometrie (Radiometrie) lässt sich häufig bei der indirekten Beurteilung von aerogeophysikalischen Daten verwenden.

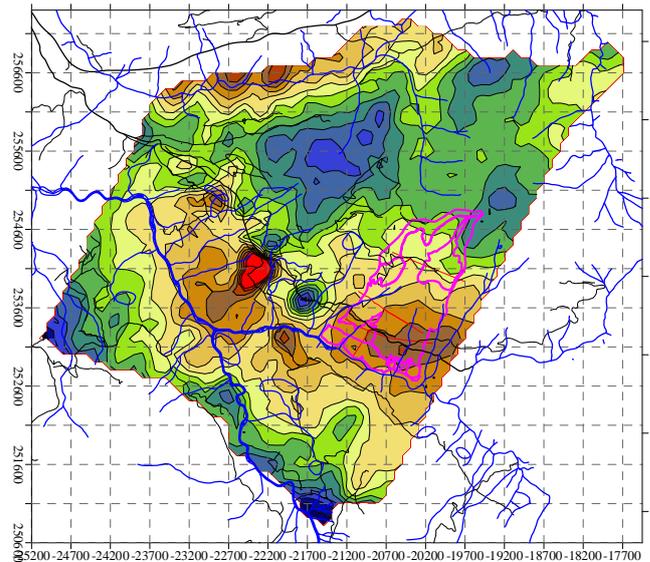


Ergebnisse Aerogeophysik: Verteilung Kalium [%]

Magnetik: Dem globalen Erdfeld sind lokale Anomalien überlagert, welche die Information über den geologischen Aufbau des Messgebietes beinhalten, wobei sich die Magnetisierbarkeitskontraste der unterschiedlichen Gesteine bzw. Minerale bemerkbar macht.

3. Entwicklung eines Monitoringsystems

Im Rahmen dieses Projektes soll ein neuartiges, robustes Monitoringsystem entwickelt werden, mit welchem



Ergebnisse Aerogeophysik: Magnetik [nT]

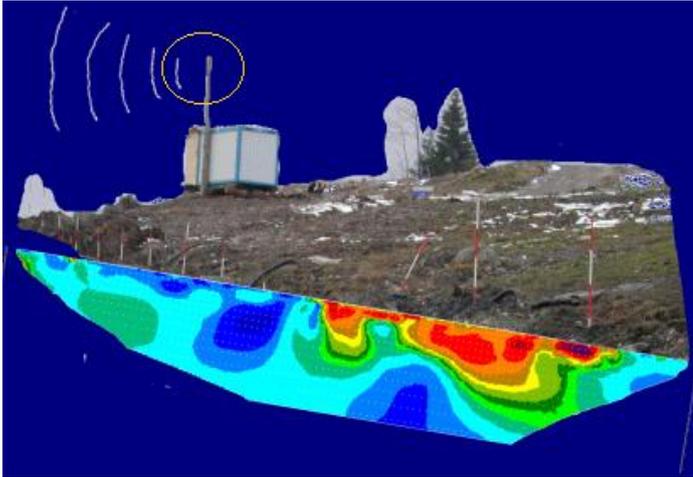
die zeitliche Änderung der Verteilungen des spezifischen elektrischen Widerstandes sowie natürlicher elektrischer Potentialverteilungen im Untergrund beobachtet werden kann. Aufgrund der Erfahrungen früherer Forschungsprojekte kann angenommen werden, dass diese Widerstands- bzw. Potentialänderung durch dynamische Veränderungen im Untergrund, im Vorfeld eines Rutschereignisses insbesondere durch Änderung des Wassergehaltes und/oder Porenvolumens, hervorgerufen werden.

Um diese Vorgänge zu beobachten soll ein geophysikalisches Monitoringsystem entwickelt werden, das durch laufende geoelektrische Messungen das Verhalten und die kritischen Systemzustände in Rutschhängen näher erkundet.

Dadurch soll ein Beitrag zur Sicherung von Siedlungszonen in rutschgefährdeten Gebieten geleistet werden.

Prinzipiell besteht ein aktives geoelektrisches Messsystem aus einem Sender, welcher ein elektrisches Feld in den Untergrund einbringt. An mehreren Punkten erfolgt einerseits die Erfassung der dem Widerstandsaufbau des Untergrundes entsprechenden Sekundärfelder und andererseits die Verteilung der natürlichen elektrischen Potentiale.

Über den Abstand Sender-Empfänger und durch unterschiedliche Primärfeldfrequenzen erhält man unterschiedliche Eindringtiefen.



Prinzip des geoelektrischen Monitoringsystems

Im Speziellen sollen Aufnahmesonden, die in den letzten Jahren entwickelt wurden, zur Verwendung als praxistaugliches Monitoringsystem weiterentwickelt und abgeändert werden und ein kostengünstiges Primärsendensystem entwickelt werden. Dazu ist es auch notwendig, dieses System in ein Telemetriesystem einzubinden.

Unter Feldbedingungen sollen weiters verschiedene Methoden der Stromeinbringung (galvanisch, induktiv, Schleife, geerdetes Kabel, ...) getestet und zielführende

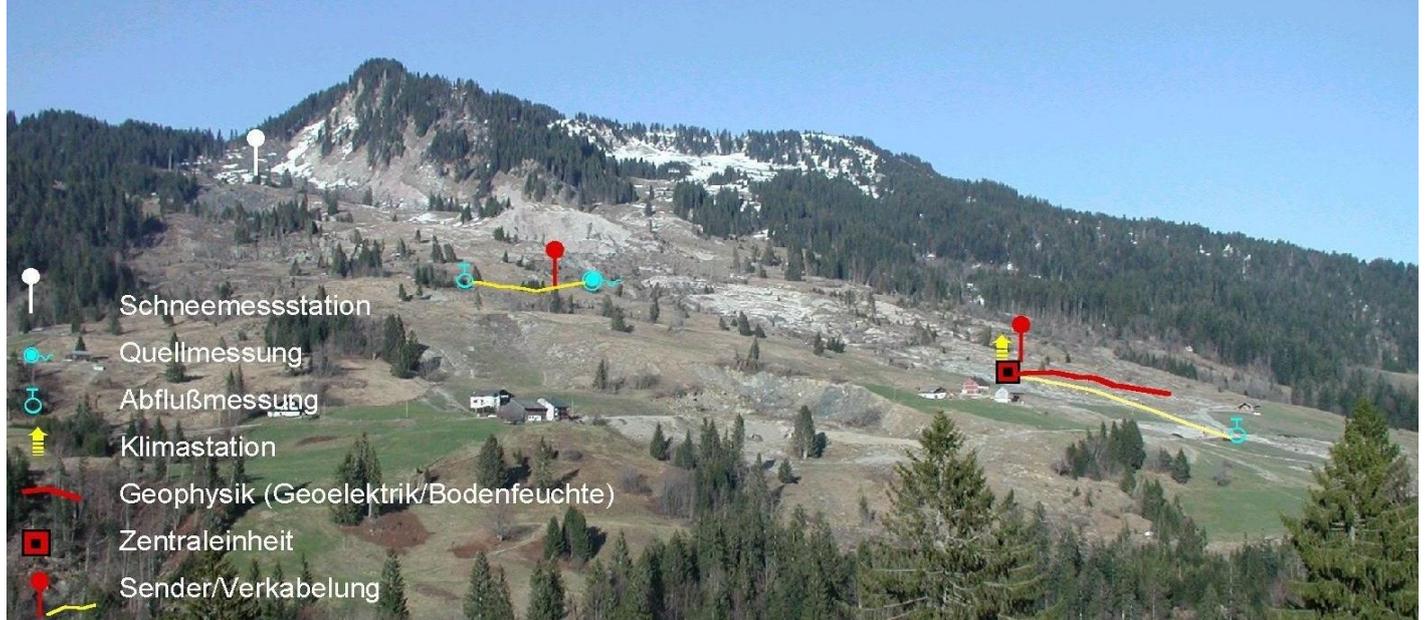
Auswertelgorithmen entwickelt werden.

Als sinnvoller Zeitraum für die Entwicklung, Installation und Test eines solchen Systems kann eine Entwicklungsperiode von vorläufig 3 Jahren angesetzt werden.

Als erste Ausbaustufe wurde ein System auf Basis der herkömmlichen Multielektrodengeoelektrik entwickelt, das jedoch Messungen ganzer Pseudosektionen in regelmäßigen Abständen (vorerst stündlich), steuerbar durch ein Telemetriesystem auf GSM Basis zulässt. Es wurde weiterhin Stromspeisung von der Potentialmessung getrennt. Durch eine neuartige Messtechnik konnte der Zeitbedarf für einen Messzyklus wesentlich herabgesetzt werden, die Entwicklung eines neuen Messschemas, bei dem zu einer Stromspeisung eine große Anzahl an Potentialmessungen durchgeführt werden, konnte sowohl Energieverbrauch als auch die Messzeit weiter herabsetzen.

Solch ein System mit vorerst 29 Elektroden wurde im Dezember 2001 verlegt, das Messgerät selbst wird im Februar 2002 installiert.

GEOMONITORING RINDBERG – LAGE DER EINBAUTEN



Anschrift des Verfassers:

Mag. Robert SUPPER
GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT
Rasumofskygasse 23, 1031 WIEN

Geomonitoring Rindberg

Erdbauarbeiten und Einrichtung des Meßsystems

Nach vorbereitenden Gesprächen über den Ablauf der Installationsarbeiten mit Mag. Jaritz, Mag. Supper und Vertretern der Firma Sommer konnte im Herbst 2001 eine Arbeitspartie der Gebietsbauleitung Bregenz mit dem Einbau der erforderlichen Messgeräte beginnen.

Wesentlich erleichtert wurden die Arbeiten im zentralen Hangbereich durch einen Betreuungsweg, welcher im vorangegangenen Sommer von den westlichen Ferienhäusern über die Alpe Vogt zur Wilds Riesalpe erbaut worden war und von dem abzweigend ein Stichweg zur Baderquelle angeschlossen werden konnte. Eine Schönwetterperiode im September und Oktober ließ die Arbeiten vorerst flott vonstatten gehen. Nach Allerheiligen kam es allerdings zu einem Wetterumschwung, so dass sich die Grabungsarbeiten für die Stromversorgung und die Geoelektrik äußerst schwierig gestalteten.

Messzentrale und Klimastation

Die **Zentraleinheit** (Messzentrale) wurde aus versorgungstechnischen Gründen nordöstlich des Hauses Kolb situiert und in einen Baucontainer eingebaut. In



Messzentrale mit Klimastation

unmittelbarer Nähe der Messzentrale wurde Ende Oktober ein Messpfeiler betoniert, von dem aus die Geoelektrik-Messsonden in regelmäßigen Zeitabständen mittels

Theodoliten eingemessen werden, um die Detailbewegungen im Schuttstrom erfassen zu können. Die Aushübe wurden händisch von Mitarbeitern der WLV erstellt.

Vom Anwesen Kolb wurde während der Schlechtwetterperiode nach Allerheiligen ein Stromkabel zur Messzentrale verlegt, welches die Energie für Geoelektrik, Wetterstation, Funkempfangsanlage und GSM-Modul liefert. Die Erdung der Zentraleinheit musste ca. 20 m vom Container entfernt eingebaut werden, damit Störungen bei der Geoelektrik ausgeschlossen werden können.

Von den einzelnen Messanlagen werden die Daten mittels Erdkabel (geophysikalische Messanlage und Ultraschallsonde Steffelgraben) bzw. über Funk (übrige Anlagen) an die Zentraleinheit übermittelt und können von dort direkt abgerufen werden.

Abflussmessanlage Rosslöchergraben

Am Ende eines mit 5 % Gefälle im Stichweg zur Baderquelle verlegten Betonrohrdurchlasses (DN 1000) wurde Mitte Oktober in einem aufgesetzten Schacht eine Ultraschallsonde zur Messung der Abflusshöhe des Rosslöchergrabens installiert.

Schüttungsmessanlage Baderquelle

Am 23. Oktober 2001 konnte die Baderquelle bei passendem Mondstand gefasst werden. Da das Quellwasser zuvor an fünf verschiedenen Stellen den Boden verließ, wurde ein Wüschelrutengänger beigezogen, der auch die Tiefenlage der Quelle – wie sich bei den nachfolgenden Grabungsarbeiten zeigte – exakt feststellte. Der tatsächliche Quellbereich befand sich an einer Stelle, wo er vor Beiziehung des Wüschelrutengängers von niemandem vermutet wurde.

Anschließend wurde eine Stahlwanne eingebaut, deren Ausfluss zur Messung der Quellschüttung als Thompson-Wehr ausgeführt ist.



Schüttungsmessanlage Baderquelle

In unmittelbarer Nähe der Baderquelle wurde an einem 4 m hohen Holzmast eine Funkantenne zur Weiterleitung der Daten von der Baderquelle und vom Rosslöchergraben an die Messzentrale errichtet. Die Stromversorgung liefert ein Solarpaneel. Die Ultraschallsonde im Rosslöchergraben wurde durch ein ca. 250 m langes Erdkabel an die Funkantenne angeschlossen.

Schneemessanlage

Der Fertigbeton für das Fundament eines 6 m langen, vollverzinkten Mastes, welcher als Halterung für das Schneeradar, ein Solarpaneel und eine Funkantenne dient, konnte am 29. Oktober 2001 aufgrund der nach wie vor guten Wetterlage mittels Hubschrauber an die Einbaustelle am Fuß des Feuerstätterkopfes geflogen werden.

Geophysikalische Messanlage

Die **geophysikalische Messanlage** mit vorerst 29 Elektroden konnte erst im Frühjahr 2002 im Bader Erd-/Schuttstrom zwischen Haus Kolb und Alpe Metzeler installiert werden.

Ein Wetterumschwung nach Allerheiligen führte zu einer totalen Durchfeuchtung des Bodens im Bader Erd-

/Schuttstrom, sodass beim Einbau der Messleitungen für die Geophysik ein Schreitbagger im breiigen, grundlosen Boden zu versinken drohte und mit Hilfe eines zweiten Schreitbaggers und einer Seilwinde geborgen werden musste.

Zum Schutz vor Abriss der von Kabelführungsrohren geschützten Messleitungen (3500 lfm) aufgrund der immer noch relativ starken Bewegungen in diesem Hangbereich (zuletzt ca. 4 m/Jahr) wurden 8 Schächte eingebaut, in denen sich jeweils ca. 2,5 lfm Schlaffkabel befinden.

Abflussmessanlage Steffelgraben

Den Abschluss der Arbeiten im Jahr 2001 bildete der Einbau eines Erdkabels zu einer Ultraschallsonde im Durchlass Steffelgraben im Bereich der Landstraße.



Im stark durchfeuchteten Lockermaterial des Bader Erd-/Schuttstromes drohte ein Schreitbagger zu versinken

Anschrift des Verfassers:

Hermann ALBRECHT
FORSTTECHNISCHER DIENST FÜR
WILDBACH- UND LAWINENVERBAUUNG
GEBIETSBAULEITUNG BREGENZ
Rheinstraße 32/4, 6900 BREGENZ

Glossar/Systematik der Hangbewegungen

Antitheter

in den Hang einfallende Bewegungsfläche

Decke, tektonisch

großräumiger, im Verhältnis zu seiner Dicke seitlich weit ausgedehnter Gesteinsverband, der von seiner ursprünglichen Unterlage abgelöst und über einige Kilometer auf fremden Untergrund überschoben wurde

Fazies

Gesamtheit der ursprünglichen Merkmale eines Gesteins

Höffig

bergm. reiche Ausbeute versprechend

Klastisch

Bezeichnung für Sedimente die aus Produkten der mechanischen Verwitterung und deren nachfolgendem Transport entstanden sind. Man unterscheidet grobklastische Gesteine [Psephite], mittelklastische Gesteine [Psammiten] und feinklastische Gesteine [Pelite].

Mikrite

Kalkschlammsediment mit Korngrößen von 0,05 mm oder kleiner

Sediment[gestein]

durch Ablagerung von klastischen [s.d.] oder chemischen Ausfällungsprozesse entstandenes Gestein

Stratigraphie

geologischer Wissenszweig der die Gesteine unter Betrachtung aller ihrer organischen und anorganischen Merkmale und Inhalte nach ihrer zeitlichen Bildungsfolge ordnet

Tektonisch

auf die Bewegungen und die Kräfte in der Erdkruste bezogen.

Stürze

unter einem Sturz versteht man das "mehr oder weniger abrupte abbrechen und Ablösen an präformierten, richtungsgebenden Spalten und Klüften und den nachfolgenden schnellen, mehr oder weniger freien Fall von kleinen Gesteinspartikeln, Gesteinstrümmern oder sehr großen Felskomplexen.

Rutschungen

Die Bewegung vollzieht sich als mehr oder weniger abrupter Abbruch mit nachfolgendem direkt wahrnehmbarem relativ langsamen bis mäßig schnellen Gleiten der Rutschmasse auf einer Scherfläche.

Rotationsrutschungen

Bewegung von Fels- oder Lockermassen auf einer oder mehreren erst im Augenblick des Bruches entstehenden, konkav gekrümmten Gleitflächen. Die Rutschmasse rotiert dabei um eine hangparallele Achse. Als Folge daraus kommt es zu einer bergseitigen Absitzung und zu einer Hebung des Rutschungsfußes.

Translationsrutsche

Translationsrutsche bewegen sich auf einer vorgegebenen, präformierten Gleitbahn. Als präformierte Gleitfläche kann jede Heterogenitäts- oder Diskontinuitätsfläche in Frage kommen (Schichtflächen, Kluffflächen, Störungsflächen, etc.)

Vorbruchbewegungen

Rutschungen im Fels- und Lockermaterial gehen meist Vorbruchbewegungen voraus. Dabei handelt es sich nach HAEFELI (1954) um: "bruchlose Verformungen in der Art eines Kriech- oder Fließvorganges, ohne das es vorerst zur Abtrennung einer freien Gleitmasse kommt". Diese langsam fortschreitenden Verformungen sind laut HAEFELI das Ergebnis langanhaltender, auf das Gestein wirkender Spannungszustände. Dieser Vorgang hält solange an bis ein kritischer Spannungszustand erreicht wird, der bei geringster Störung zur Überwindung des Scherwiderstandes an einem Punkt, also zur Rissbildung führt.

Fließbewegungen

Fließen

jede Verschiebung der Feinbauteile eines Körpers, die zu einer bleibenden Änderung seiner Gestalt führt, heißt Fließen. Dabei ändert sich nur die Gestalt, nicht das Volumen. Im Gegensatz zum Bruch, der entlang distinkter Flächen eintritt, den ganzen Körper. LAATSCH, W. & GROTTENTHALER, W. (1972) bezeichnen ein mehr oder weniger mäßig schnelles, direkt wahrnehmbares Fließen als "weichplastisch", wenn sich der Fließkörper zwischen Ausroll- und Fließgrenze befindet. Erreicht der Wassergehalt die Fließgrenze sprechen beide Autoren vom "quasiviskosen" Fließen. Übergänge vom Kriechen bis hin zum quasiviskosen Fließen sind häufig und werden durch den Wassergehalt der Fließmassen kontrolliert.

Kriechen

eine langsame fließende Verformung unter gleichbleibender ständiger Auflast wird als Kriechen bezeichnet. Es handelt sich also um eine Verformung im Bezug zur Zeit. Bruchlose Verformungen in der Art eines Kriech- bzw. Fließvorganges, ohne dass es vorerst zur Abtrennung einer freien Gleitmasse kommt treten laut HAEFELI (1954) auch als Vorbruchbewegungen bei Rutschungen auf (s.o.).

Muren

steigt der Wassergehalt soweit an, dass das Volumsverhältnis von Wasser : Feststoffanteil größenordnungsmäßig 1 : 1 wird und Lockermassen zu einer Suspension aufgeschwemmt werden, spricht man von Muren

Erd-/Schuttströme

Erd-/Schuttströme sind laut LAATSCH, W. & GROTTENTHALER, W. (1972): "plastische bis dünnbreiige Massen die sich in Hangeinschnitten oder Hangmulden unmerklich langsam bis mäßig schnell abwärts bewegen". Je nachdem ob die Kies- bis Steinfraction in der Masse zurücktritt oder überwiegt spricht man von Erd- oder einem Schuttstrom. Die Bewegungsgeschwindigkeit derartiger Hangbewegungen hängt laut FISCHER (1967) von der Neigung des Einzugsgebietes, von der Materialbeschaffenheit (Ton-, Sand-, oder Kalkgehalt), von der Form des Querschnittes und vor allem vom Grad der Durchfeuchtung ab.

