



# Internationales Symposium INTERPRAEVENT 2004 – RIVA / TRIENT

## GROßHANGBEWEGUNG RINDBERG (VORARLBERG)

### MULTIDISZIPLINÄRE URSACHENFORSCHUNG

### LANDSLIDE RINDBERG (VORARLBERG)

### MULTIDISCIPLINE RESEARCH

Wolfgang Jaritz<sup>1</sup>, Andreas Reiterer<sup>2</sup> und Robert Supper<sup>3</sup>

#### ZUSAMMENFASSUNG

Eine Periode mit schweren Niederschlägen verbunden mit rasch ablaufender Schneeschmelze im Frühjahr 1999 führte zu einer ausgedehnten Hangbewegung an der Südflanke des Rubachtales in der Gemeinde Sibratsgfall (Vorarlberg; Österreich). Die Bewegungsraten der beteiligten Fels-, und Lockergesteinskörper erreichten Werte von über einem Meter pro Tag. Im Auftrag des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung wurden geologische und geophysikalische Untersuchungen im Hangbewegungsareal durchgeführt. Damit sollte sowohl die Ursache, als auch der Mechanismus der Hangbewegung erfasst werden, um gezielt mögliche Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen durchführen zu können. Aufgrund der guten multidisziplinären Untersuchungsergebnisse wurde ein Forschungsprojekt initiiert, das über ein on-line Geomonitoring die kritischen Systemzustände eines Rutschhanges erkunden und erfassen sollte.

**Key words:** Großhangbewegung, multidisziplinäre Untersuchungen, Monitoringsystem

#### ABSTRACT

A short period of heavy precipitation and the rapid melting of snow in spring of 1999 initiated a catastrophic landslide on the South-flank of the Rubach Valley near Sibratsgfall in the federal state of Vorarlberg (Austria). The 1.4 km<sup>2</sup> wide slide area covered from 830 m to 1500 m seelevel. The movement rates of rock- and debris bodies involved exceeded up to 1m per day. As authorized by the State Department of Avalanche and Torrent Control preliminary geological investigations were initiated shortly after the first slide activity was noticed. The study incorporated a geo-morphological, a hydro-geological and a geophysical survey of the area. The purpose of the work was to determine sub-surface conditions and the possible mechanism of the landslide. Due to the good multi-disciplinary results of measurement obtained a research program based on the on-line monitoring was developed.

**Key words:** landslide, multi-disciplinary research, monitoring system

---

1 Moser/Jaritz ZT-Gesellschaft, Münzfeld 50, 4810 Gmunden, Österreich (Tel.: +43-7612-75101-0; Fax: +43-7612-75101-33; email: w.jaritz@moser-jaritz.at)

2 Forsttechnischer Dienst f. Wildbach und Lawinenverbauung, Sektion Vorarlberg, Rheinstraße 32/4, 6900 Bregenz, Österreich (Tel.: +43-5574-74995; Fax: +43-5574-74995-6; email: andreas.reiterer@wlv.bmlf.gv.at)  
3 Geologische Bundesanstalt, Rasumofskyg. 23, A-1030 Wien, Österreich (Tel.: +43-1-7125674; Fax: +43-1-7125674-56 email: rsupper@cc.geolba.ac.at)

## EINLEITUNG

Im Frühjahr 1999 wurde die Parzelle Rindberg der Gemeinde Sibratsgfall von einer ausgedehnten Hangbewegung erfasst, von der schlussendlich eine Fläche von rd. 1,4 km<sup>2</sup> betroffen war.

Nach einem sehr schneereichen Winter und Starkregenfällen in der ersten Monathälfte traten am 18. Mai 1999 die ersten erkennbaren Bewegungsanzeichen in Form von Rissen im oberen Hangabschnitt auf. Bereits am darauffolgenden Tag wurden erste Gebäudeschäden im Unterhang festgestellt. Die Bewegungen nahmen bis Mitte Juni 1999 auf Werte von mehreren Metern pro Tag zu. Sie verlangsamten sich bis in den Frühwinter 1999 auf Werte von mehreren mm pro Woche. Lediglich ein Teilbereich, welcher sich als Erd-/Schuttstrom ausbildete (sog. Erd-/Schuttstrom Bader) weist bei abnehmender Tendenz auch derzeit noch Bewegungsraten von mehreren Metern pro Jahr auf.

Unmittelbar nach Auftreten der Hangbewegung wurde vom Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinerverbauung eine multidisziplinäre Forschungsgruppe zur Untersuchung der Struktur und der Auslöseursache dieser Hangbewegung eingesetzt. Das Forschungsprogramm beinhaltete folgende Punkte:

- Terrestrische Vermessung mittels Präzisionstheodoliten vom Gegenhang
- Detaillierte geologische und hydrologische Kartierungen
- Bodengeoelektrische Untersuchungen
- Aerogeophysikalische Untersuchungen

## LAGE



Das Hangbewegungsareal befindet sich an der orographisch rechten Talflanke des Rubachtals, östlich der Gemeinde Sibratsgfall (Vorarlberg). Das höchstgelegene Anbruchgebiet der Bewegung liegt in der Kammregion des Höhenzuges zwischen Renknie und Feuerstätterkopf 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.

**Abb1:** Geographische Lage  
**Fig1:** Geographical situation

## UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE - GEOLOGIE

Im Rubachtal treten vier tektonische Einheiten der Ostalpen auf kurzer Streck 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 (=Decken), wobei die

Feuerstätter Decke aufgrund ihres bereits sedimentologisch äußerst heterogenen und zum Teil Feinkorn dominierten Gesteinsbestandes (Wildflysch) als Hauptträger der Deckenüberschiebung fungierte.

### Geologie im Hangbewegungsareal



**Abb2:** Hangbewegungsareal  
**Fig2:** Landslide area

Im Hangbewegungsareal waren bereits Ende Mai 1999 alle wesentlichen Bewegungssysteme entwickelt. Es werden drei Hauptanbruchgebiete unterschieden. Das Anbruchgebiet Feuerstätter auf rd. 1450 m (1 lt. Abb. 2), das Anbruchgebiet Sommerstadel auf rd. 1280 m (2 lt. Abb. 2) sowie das Anbruchsystem Vogt auf rd. 1070 m (3 lt. Abb. 2).



**Abb3:** Geologische Karte des Hangbewegungsareals  
**Fig3:** Geological map of the landslide area

Das Hangbewegungsareal kommt zur Gänze im Bereich der Feuerstätter Decke zu liegen, die von vier Gesteinseinheiten aufgebaut wird: Serie mit Feuerstätter Sandstein / Junghansen Formation / Schelpen Serie / Aptychen Schichten (lt. Abb. 3; graue und weiße Flächen: junge Umlagerungssedimente).

Unter Junghansen Formation wird eine stark tektonisierte, verschuppte und zerschernte Wechselfolge von schwarzen Peliten, Tonschiefern und dunklen Mergeln zusammengefasst. Im unmittelbaren Anbruchareal der von Junghansen Schichten aufgebauten Bereiche dominieren staffelförmige Rotationsgleitungen.

Die Schelpen Serie setzt sich lithologisch aus grauen bis bräunlichen Tonmergeln und hellbraun bis ocker anwitternden Sandsteinen und Sandkalken zusammen. Das Verformungsverhalten ähnelt jenem der aus Junghansen Schichten aufgebauten Bereiche. Rotationsförmige Staffelbrüche im unmittelbaren Anbruchareal werden hangabwärts rasch von plastischen Deformationen mit großräumigen Aufwölbungen und Absackungen abgelöst.

Bei der Serie mit Feuerstätter Sandstein handelt es sich um einen dichten, glaukonithaltigen Sandstein mit scharfkantigem Bruch. Im Hangbewegungsareal liegen jene Bereiche, welche von Gesteinen der Serie mit Feuerstätter Sandstein aufgebaut werden, zumeist als kleinräumige, inselartige Vorkommen (z.B. Bereich Rosslöcher (4 lt. Abb. 4)) vor.



**Abb4:** Oberhang, Anbruch Lustenauer Ries  
**Fig4:** Upper slope, crack "Lustenauer Ries"

Bei den Aptychen Schichten handelt es sich um meist hellgraue, dünnbankige Mikrite. Sie treten in Wechsellagerung mit dunkel- bis hellgrauen Mergeln, teilweise rötlichen bis grünlichen Tonen und Tonmergeln auf. Im Hangbewegungsareal wird ein großräumiges Gebiet im Bereich des Anbruchs Lustenauer Riesalpe (5 lt. Abb. 4) von Aptychen Schichten dominiert.

Der bereits vor der aktuellen Bewegung vorhandene, rd. 40 m hohe Anbruch reagierte im Zuge der jüngsten Bewegung mit einer Rückböschung der Anbruchkante in Form ausgedehnter Felssturzereignisse. Das am Böschungsfuß vorhandene und sich noch weit Richtung Tal ausbreitende Blockfeld wird von Klufkörpern mit 0,02 m<sup>3</sup> Größe dominiert. An morphologischen Phänomenen konnten weiters kleinräumige, staffelförmige Absetzungen, sowie antithetische Strukturen als Reaktion auf Stauchungserscheinungen beobachtet werden.



**Abb5:** Aufwölbungen im Unterhang  
**Fig5:** Upward buldge in the lower slope areas

Im mittleren und unteren Hangabschnitt werden überwiegend Lockergesteine aufgeschlossen. Die Matrix der Feinkorn dominierten Lockermassen wird aus den total entfestigten Mergeln und Tonsteinen aufgebaut. Darin eingebettet findet sich Blockwerk aus härteren, gegen Verwitterungseinflüsse resistenten Gesteinen. In jenen Bereichen, wo Feuerstätter Sandstein den Untergrund aufbaut, sind noch größere zusammenhängende Felsareale vorhanden.

In der im zentralen mittleren Hangabschnitt abgeteufte Erkundungsbohrung wurde eine Mächtigkeit der dort vorhandenen Lockersedimentdecke von rd. 47 m festgestellt. An 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 wird überwiegend von plastischen Verformungen in Form großräumiger Absetzungen und Aufwölbungen geprägt (s.d. Abb. 5). Zudem war die Ausbildung von großen sekundären Anbruchsystemen oder von Erd-/Schuttströmen zu beobachten.

Die Hangbewegung des Jahres 1999 erfasste einen, bereits durch mehrere vorangegangene Hangbewegungsereignisse geschwächten Hang. Dies ist durch alte Anbruchkanten und Zerrspaltensysteme außerhalb der aktuellen Bewegung 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 Radiokarbonalter von rd.  $4530 \pm 60$  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).

## **UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE - BODENGEOELEKTRIK**

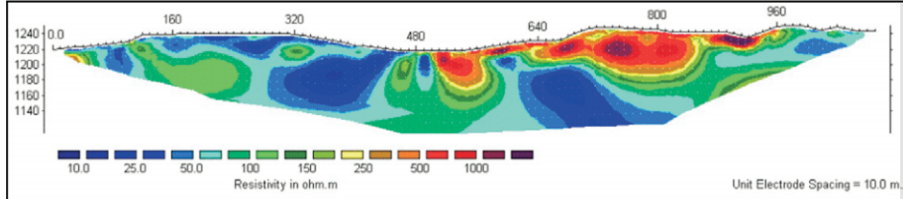
Zur Erkundung des Aufbaus, der Struktur und der Tiefenerstreckung des Hangbewegungskörpers wurden geophysikalische Untersuchungen mittels einer Multielektroden-Geoelektrik durchgeführt. Bei der geoelektrischen Messmethode wird die Verteilung des spezifischen elektrischen Widerstandes im Untergrund gemessen, die vor allem von Tongehalt, Porosität und Wassergehalt des Untergrundgesteines sowie der elektrischen Leitfähigkeit des Porenwassers abhängt. Als Ergebnis erhält man einen zweidimensionalen Profilschnitt des Widerstandsaufbaues des Untergrundes, der geologisch interpretiert werden kann.

Um auch komplexe Untergrundstrukturen geophysikalisch erfassen zu können, wurden Multielektrodenanordnungen entwickelt. Diese bestehen aus einer Messeinheit und bis zu 256 automatisch steuerbaren Elektroden, welche entlang eines Profils in konstanten Abständen in die Oberflächenschicht eingebracht werden. In der Folge werden von einer Steuereinheit automatisch durch Zusammenschalten der entsprechenden Elektroden an jedem Elektrodenpunkt Tiefensondierungen bis zum maximal möglichen Außenelektrodenabstand gemessen. Diese Meßmethode erlaubt es, Widerstandsuntergrundprofile mit einem Punktabstand von maximal 20 m und einer maximalen Eindringtiefe von 250 Meter zu erstellen. Dadurch kann die Messwertdichte und somit die Verlässlichkeit der Daten im Vergleich zur herkömmlichen Geoelektrik um ein Vielfaches erhöht werden. Die Messergebnisse selbst werden in Form einer Pseudosektion dargestellt, wobei die gemessenen scheinbaren Widerstände gegen den jeweiligen Elektrodenabstand („Pseudotiefe“) aufgetragen werden. Die zweidimensionale Inversion teilt den Untergrund in rechteckige Blöcke auf, welchen durch einen Algorithmus die zu den Messwerten bestmöglich passenden Widerstandswerte zugewiesen werden. So erhält man den Widerstandsaufbau des Untergrundes.

### **Ergebnisse**

Im Hangbewegungsareal wurden fünf geoelektrische Profile gemessen. Die Ergebnisse der geoelektrischen Untersuchungen werden an einem Messprofil (Profil 1, Abb. 6) stellvertretend dargestellt. Der gegenständliche Profilschnitt wird von Aptychenschichten dominiert. Deren Verbreitung reicht laut Oberflächengeologie im Westen bis zum tiefsten Punkt des Forstweges zwischen Sommerstadel und Lustenauer Alpe und im Osten bis zur Begrenzung des gegenständlichen Hangbewegungsareals. In den zahlreich vorhandenen Aufschlüssen dieses Profilschnittes waren überwiegend noch Aptychenschichten im Schichtverband erkennbar. Im Widerspruch zu diesem beobachtbaren Schichtverband stehen

jedoch die zahlreichen, auch antithetischen, d.h. für tiefgreifende Bewegungen charakteristischen Bewegungsflächen, Rissbildungen und Abrisskanten im gesamten Bereich.



**Abb6:** Geoelektrisches Profil 1, Bereich Lustenauer Ries

**Fig6:** Geoelectric sequence, Lustenauer Ries area

Im östlichen Abschnitt erreichen die Gesteine der Aptychenschichten laut Geophysik eine Gesamtmächtigkeit von ca. 60 bis 65 m (Bereich Lustenauer Riesalpe). Die im geoelektrischen Profil ausgewiesene, scharfe Grenze in dieser Tiefe hin zu niedrigohmigen Serien ( $< 100 \Omega\text{m}$ ; Abb. 6) stellt vermutlich den Bewegungshorizont bzw. die Bewegungsfläche unterhalb des Aptychenschichten-Komplexes dar. Als Bewegungshorizont werden wasserstauende, Feinteil dominierte Junghansen Schichten ( $< 50 \Omega\text{m}$ ) angenommen. Die Aptychenschichten sind hingegen, mit sehr hohen spezifischen Widerständen ( $> 300 \Omega\text{m}$ ) aufgrund einer durch die Bewegung verursachten, starken internen Zerrüttung und Gefügeauflockerung (Bildung von offenen Klüften und Schichtflächen) stark wasserdurchlässig und erscheinen daher im Vergleich zu allen anderen Hangbewegungsarealen als vergleichsweise „trocken“.

## UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE AEROGEOPHYSIK

Um Daten über die flächige Verteilung der Gesteinsserien im weiträumigen Untersuchungsraum zu erhalten, wurde eine aerogeophysikalische Befliegung durchgeführt. Zu den wichtigsten, für aerogeophysikalische Messungen relevanten physikalischen Eigenschaften von Mineralien bzw. Gesteinen zählen 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, um noch ein nutzbares Messsignal erzeugen zu können. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Messpunktraster (Profilabstand, Messpunktabstand, Flughöhe etc.) einen sehr wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis hat.

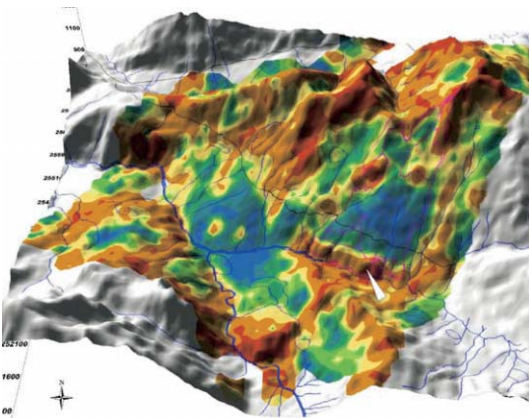
Beim Flugprogramm im Messgebiet Sibratsgfäll wurde der Profilabstand mit 200 m festgelegt, im Bereich der Rutschung Rindberg wurde auf 100 m verdichtet. Der Messpunktabstand entlang der Profile ist von der jeweiligen Fluggeschwindigkeit abhängig, so z.B. beträgt die Datenabtastrate für die Radiometrie 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.

## Ergebnisse

Nachfolgend werden die Ergebnisse der elektromagnetischen Messungen dargestellt. In den, im Hangbewegungsareal unterschiedenen Anbruchbereichen (Anbruch Feuerstätter (1 lt. Abb. 2), Anbruch Sommerstadl (2 lt. Abb. 2) und Anbruch Vogt (3 lt. Abb. 2)) deckt sich der festgestellte Bodenaufbau (ausschließlich feinkörnige Lithologie: Junghansen Schichten und Schelpen Serie) gut mit der gemessenen scheinbaren Widerstandsverteilung (niedrige scheinbare Widerstände zwischen 10 und 75  $\Omega\text{m}$ ; Abb. 7: blaue Areale) der Aero-Geophysik. Die im Anbruchbereich Feuerstätter (1 lt. Abb. 2) festgestellten mittelohmigen Areale (200–400  $\Omega\text{m}$ ; Abb. 7: Areale in ocker) bis rd. 16 m Tiefe korrelieren gut mit der vorhanden Blockwerk-Auflage über den Gesteinen der Junghansen Schichten. Diese erreichten lt. Aeroeophysik eine Tiefenerstreckung von rd. 50 m.



**Abb7:** Elektromagnetik Daten: links an der Oberfläche; rechts in rd. 43 m Tiefe unter GOK  
**Fig7:** Electromagnetic data: left: on the surface; right: 43m sub-surface



**Abb8:** 3-D Modell der Widerstandsverteilung im Hangbewegungsareal  
**Fig8:** 3-D model of resistivity distribution in the landslide area

Im untersten Hangabschnitt des Hangbewegungsareals befindet sich ein mächtiger Eisrandstaukörper, der überwiegend aus grobkörnigem Lockermaterial aufgebaut wird. Die demnach zu erwartenden hohen Widerstandswerte wurden sowohl in der terrestrischen als auch in der aereogeophysikalischen Vermessung nachgewiesen. Besonders eindrucksvoll erkennt man den hochohmigen Körper in der 3-D Ansicht der Widerstandsverteilung des Befliegungsgebietes (Pfeil).

## INTERPRETATION DER UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

### Ursache der Bewegung

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 (Anbruchgebiet Feuerstätter, Anbruchgebiet Sommerstadel, Anbruchsystem Vogt) in den veränderlich-festen 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 Verwitterungsresistenz auf und zerfallen bei entsprechender Durchfeuchtung rasch zu feinteilreichen Lockermassen, die durch verschiedenste Prozesse (Hangkriechen, Rutschungen, Muren, etc.) überwiegend im mittleren und unteren Hangabschnitt akkumulieren. Das stark ausgeprägte Trennflächengefüge (Schichtung, Klüfte, Scher- und Schieferungsflächen) kompensiert die geringe Materialdurchlässigkeit der Ausgangsgesteine und ermöglicht eine tiefgreifende, weiträumige Durchfeuchtung. Zudem ist der gesamte Böschungskörper durch vorrangegangene 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 gehen die Verbandseigenschaften der Junghansen Schichten und der Schelpen Serie sukzessive verloren. Übrig bleibt eine Feinkorn dominierte Lockermasse. 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.

### Bewegungsmechanik

Bei einem durchschnittlichen Jahresniederschlag von rd. 2200 mm kann demnach von einer kontinuierlichen, sehr langsamen, kaum merkbar ablaufenden Kriechbewegung bestimmter Hangareale ausgegangen werden. Derartige Verformungen äußerten sich in der Vergangenheit in Form von Rissbildungen entlang der Landesstraße oder durch nachzuspannende oder überspannte Stromleitungen. Schneller ablaufende Bewegungen sind an klimatische Sondersituationen, wie im Frühjahr 1999, gebunden.

Vor einem derartigen Hintergrund sind die großen Niederschlagsmengen im Vorfeld des Hangbewegungsereignis im Jahr 1999 (im Mai fielen 520,6 mm Regen – entspricht ca. 24% des normalen 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 Mittel- und Unterhang vorerst mit langsamem Massenzugewinn reagierten. 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 aufbauenden Gesteine übersteilte Unterhang, baut das entstandene Ungleichgewicht in Form sekundärer Anbruchsysteme, sowie in Form von Erd-/Schuttströmen ab.



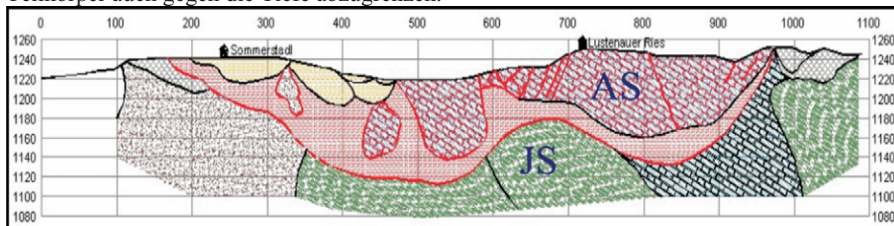
Dieses einfache mechanische Bild (Betrachtung der Talflanke als einheitlichen, mehr oder weniger homogenen Körper) wird durch den komplizierten, geologisch-tektonischen Bau erschwert. Im verformten Böschungskörper stecken mehrere, sich starr, mechanisch spröde verhaltende Teilkörper mit gänzlich anderem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

**Abb9:** Areale aus Feuerstätter Sandstein (rot) und Aptychen Schichten (blau) im Hangbewegungsareal

**Fig9:** Areas of "Feuerstätter sandstone" (red) and "Aptychen layers" (blue) in the landslide area

Dabei können kleinräumige, ein- und auflagernde Körper aus Feuerstätter Sandstein (z.B. Bereich Rosslöcher (1 lt. Abb. 9), Kolb (2 lt. Abb. 9), Ochensberger (5 lt. Abb. 9), Vogt (3 lt. Abb. 9)) sowie der großräumig auflagernde Körper der Aptychen Schichten (Bereich Lustenauer Riesalpe (6 lt. Abb. 9)) unterschieden werden. Diese, im Vergleich zur feinkörnigen, sie umgebenden Masse, hochhohmigen Körper sind in den Messdaten der AERO-Geophysik nur dann nachweisbar, wenn eine Größe von rd. 30 x 30 m überschritten wird. So konnten die isolierten Areale aus Feuerstätter Sandstein inmitten der Hangbewegungsmasse im Bereich Rosslöcher (1 lt. Abb. 9) und Kolb (2 lt. Abb. 9) deutlich, sowohl was Abgrenzung und Tiefenerstreckung betrifft, nachgewiesen werden.

Mittels terrestrischer geophysikalischer Untersuchungen wurde versucht, Aufschluss über den Tiefgang der Bewegung zu erhalten, bzw. die mechanisch sich unterschiedlich verhaltenden Teilkörper auch gegen die Tiefe abzugrenzen.



**Abb10:** Geologischer Schnitt entlang der Goelektrik-Profilinie 1 (s. Abb. 6)

**Fig10:** Geological cross section along the geoelectrical profile line 1 (s. Abb. 6)

Im höchstgelegenen der fünf gemessenen Profile (s. Abb. 10) konnte in den Messergebnissen der als deutlich hochhohmig auftretende Körper der Aptychen Schichten (AS lt. Abb. 10) gegenüber seinem offensichtlich Feinkorn dominierten, eventuell wassergesättigten

Untergrund (Junghansen Schichten? (JS lt. Abb. 10)) 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 im Bereich der Lustenauer Riesalpe auf seiner Feinkorn dominierten, vermutlich stark wassergesättigten Unterlage auszugehen.

Die aerogeophysikalischen Messdaten bestätigen dieses Bild, sowohl hinsichtlich Verbreitung, als auch Tiefe. Dabei ist ein kontinuierliches Auftauchen niedrigohmiger Bereiche von Nordwesten Richtung Südosten unter den Aptychenschichten ab einer Tiefe von rd. 40 m festzustellen. Dies entspricht dem generellen Streichen und Fallen der Serien.

## **DAS MONITORINGMESSGEBIET**

### **Intention**

Da die geologische Modellvorstellung des Hangbewegungsareals mittels der eingesetzten geophysikalischen Methoden verbessert und verfeinert werden konnte, wurde der Gedanke geboren durch laufende bzw. ständige geophysikalische Untersuchung des Hanges, die sich ändernden Systemzustände der Rutschmasse (Schneeschnmelze, Regen- bzw. Trockenperioden) quasi online zu erfassen. Mittels eines Geomonitoring sollte der permanente Parameter Boden noch besser geophysikalisch eingegrenzt, und der variable 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.

Der Prozess, welcher zum Auslösen einer Hangbewegung führt, spielt sich entweder allmählich oder plötzlich ab. Daher muss ein Monitoringsystem zur Beobachtung dieser Prozesse die Möglichkeit bieten, sowohl Änderungen über einen langen Zeitraum (über Monate) als auch kurze plötzliche Änderungen (während einiger Stunden) zu erfassen. Das Monitoringsystem sollte eine Punktabbildung des gegenwärtigen Systemzustandes bereitstellen, d.h. die Zeitdauer der Datenerfassung muss viel kürzer sein als die Dauer einer möglichen Zustandsänderung. Daher ist der online-Zugang zum Überwachungssystem, die kurze Datenverarbeitungszeit, die dauernde Verfügbarkeit von aktueller Information und die Festlegung von kritischen Vorwarnwerten notwendig.

### **Messgebiet**

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

- aktiver Hangbewegungsabschnitt mit Bewegungsraten von mehreren cm/Jahr
- wechselnde Bewegungsgeschwindigkeiten die durch den Wassergehalt gesteuert werden
- Böden, die ein hohes Wasseraufnahmevermögen besitzen
- hydrogeologisch messbare und maßgebliche Einflussfaktoren

Die Auswahl fiel auf das größte und aktivste Erd-/Schuttstromareal im Hangbewegungsbe-  
reich Rindberg: der sg. Bader Erd-/Schuttstrom. Bereits zu Beginn der Katastrophe hat sich  
das Bader Erd-/Schuttstromsystem als eines der ersten Systeme deutlich herausgebildet und  
wies die höchsten Bewegungsraten auf. Das Schuttstrommaterial ist durch weitgestufte

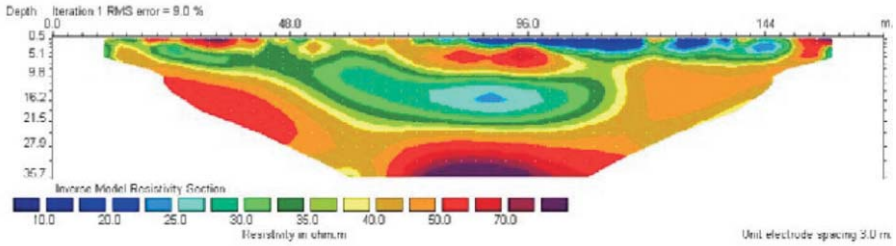
Kornmische von Ton bis Blockwerk charakterisiert. Als Grobkornkomponenten treten fast ausschließlich Aptychenschichten Bruchstücke aus dem Anbruchkessel Lustenauer Riesalpe [s.o.] auf. Der Wassergehalt des Erd-/Schuttstromsystems und die daraus resultierenden Bewegungsgeschwindigkeiten werden maßgeblich durch einen stark schüttenden Quellhorizont (durchschnittlich 10-15 l/s) im westlichen, höchst gelegenen Anbruchkessel des Erd-/Schuttstromes gesteuert.

### **Installierte Messsysteme**

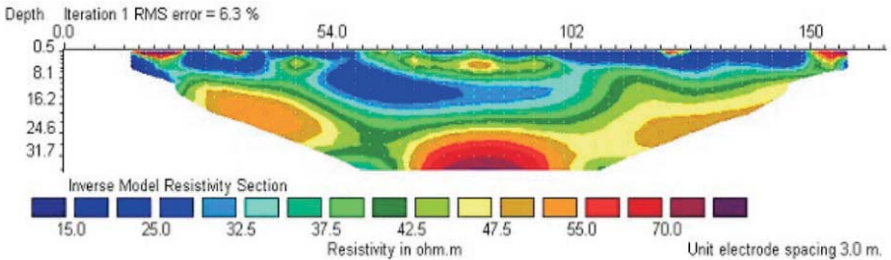
Die installierten Meßsysteme innerhalb und außerhalb des Erd-/Schuttstromareals werden sowohl die Schüttungsmengen des Quellhorizontes, die Wasserführung der maßgeblichen Oberflächengerinne, die jeweiligen klimatischen Daten, sowie die für die Fragestellung wichtigen Bodenparameter (Widerstandsverteilung abhängig vom jeweiligen Wassergehalt) erfassen. Zur Erfassung der bodenphysikalischen Einflussfaktoren wurde eine geophysikalische Messanlage mit vorerst 29 Elektroden im Erd-/Schuttstrom Bader installiert. Das installierte geoelektrische Meßsystem soll Verteilungen des spezifischen elektrischen Widerstandes, sowie natürlicher elektrischer Potentialverteilungen im Untergrund erfassen. Dieser Parameter ist eine physikalische Eigenschaft des Untergrundes, welche in erster Linie von der Porosität, der Leitfähigkeit des Porenwassers, vom Tongehalt und zu einem geringeren Anteil von der Partikelform und der Porengeometrie abhängt. Die klimatischen Einflussfaktoren Niederschlag und Lufttemperatur werden in der Nähe der Messzentrale gemessen und die Daten an die Messzentrale weitergeleitet. Die auf Radarmessung basierende Schneemessanlage wurde von der klimatischen Messstation getrennt und im Oberhangbereich am Westfuß des Feuerstätters errichtet. 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 Wasserangebot für den Erd-/Schuttstrom gewonnen werden. In einem Betonrohr wird mittels Ultraschallmessung die Abflusshöhe der Oberflächengerinne 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 Wassersättigung des Untergrundes wird entlang der geoelektrischen Profillinie mittels Spezialtensiometer in Edelstahlausführung gemessen. 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. Die bisherigen Erfahrungen mit dem derzeit existierenden Prototyp zeigten, dass trotz guter Leistung des Systems verschiedene Änderungen bei der Hardware durchgeführt werden müssen.

### **Erste Ergebnisse**

Die im ersten Messjahr pro Tag gemessenen 6 Pseudosektionen lassen Unterschiede in der Widerstandsverteilung erkennen, wenngleich die Internstruktur des Bodens entlang der gemessenen Profillinie kaum Variationen aufweist. Zur Veranschaulichung werden nachfolgend 2 geoelektrische Profile zu unterschiedlichen Messzeiten dargestellt.



**Abb11:** Goelektrische Profile der Monitoringstrecke; April 2002  
**Fig11:** Goelectric sequences along the monitoring line; April 2002



**Abb12:** Goelektrische Profile der Monitoringstrecke; Jänner 2003  
**Fig12:** Goelectric sequences along the monitoring line; January 2003

## LITERATUR

- Institut f. Meteorologie und Geophysik (1999): Goelektrische Untersuchungen an der Rutschung Sibratsgfall; *Bericht Dezember 1999, Wien*
- Moser/Jaritz [2001]: Großhangbewegung Rindberg – Schadensbild, Ursache Prognose.- in: Georisiken - *Geologisch bedingte Naturgefahren in Österreich; Seminar und Workshop; Bericht der Geologischen Bundesanstalt, Wien 2001*
- Schütz, P. (2000): Geologische Kartierung von Sibratsgfall (Vorarlberg). *Unv. Dipl. Arbeit. Uni. Karlsruhe.*
- Simet, Ch. (1985): Zur Geologie in der Umgebung von Sibratsgfall (Vorarlberg, Österreich). - *Unv. Dipl. Arbeit. Uni. München.*
- Thom, P. (1986): Zur Geologie der Berge zwischen Balderschwang und Sibratsgfall. - *Unv. Dipl. Arbeit. Uni. München.*
- Wöhler-Alge et.al. [2002]: Geomonitoring Rindberg – Rutschungsüberwachung und Methodenentwicklung.- *WLV Sektion Vorarlberg, Jahresbericht 2001, Bregenz 2002.*
- ZT-Büro Moser [1999]: Hangbewegung Rindberg, Gde. Sibratsgfall – Geologische Erstbeurteilung. *Unveröff. Bericht GZ 9907066.*
- ZT-Büro Moser [2000]: Hangbewegung Rindberg, Gde. Sibratsgfall – Geologische Interpretation der geophysikalischen Untersuchungen. *Unveröff. Bericht GZ 0001005.*