

# Hydrogeologische Aspekte bei der Sanierung von Rutschungen – mit Beispielen aus der Praxis

*Landslide Remediation – Hydrogeological Aspects and Case Studies*

G. MOSER<sup>1)</sup>

## Inhalt

	Seite
1. Einleitung.....	138
2. Großhangbewegung Sibratsgfall.....	138
2.1. Lage.....	138
2.2. Methodik.....	138
2.3. Geologie/Hydrogeologie.....	139
2.3.1. Geologischer Rahmen.....	139
2.3.2. Hydrogeologie.....	140
2.4. Bewegungsbild.....	140
2.5. Maßnahmen.....	141
3. Großhangbewegung Doren.....	142
3.1. Lage und Morphologie.....	142
3.2. Methodik.....	143
3.3. Geologie/Hydrogeologie.....	143
3.3.1. Geologischer Rahmen.....	143
3.3.2. Hydrogeologie.....	144
3.4. Bewegungsbild.....	144
3.5. Maßnahmen.....	144
4. Großhangbewegung Gschliefgraben.....	145
4.1. Lage/Morphologie.....	145
4.2. Methodik.....	145
4.3. Geologie/Hydrogeologie.....	145
4.3.1. Geologischer Rahmen.....	145
4.3.2. Hydrogeologie.....	146
4.4. Bewegungsbild.....	146
4.5. Maßnahmen.....	148
5. Zusammenschau der Ergebnisse.....	149
5.1. Ursachen.....	149
5.2. Auslöser.....	149
5.3. Maßnahmen.....	150

<sup>1)</sup> Mag. Dr. Günter MOSER, Ziviltechniker GmbH Moser/Jaritz, Münzfeld 50, A-4810 Gmunden, Österreich. E-Mail: g.moser@moser-jaritz.at

Zusammenfassung.....	150
Literatur.....	151
Summary.....	151
Dank.....	152

## 1. Einleitung

Massenbewegungen stellen eine häufige Gefährdung von anthropogen genutzten Flächen dar und können durch die Notwendigkeit von Sanierungsmaßnahmen zum Schutz von Siedlungsräumen auch beträchtlichen volkswirtschaftlichen Schaden erzeugen. Die Bedeutung des Grundwassers im Zusammenhang mit Massenbewegungen ist seit langem bekannt und findet sich in Namensgebungen und Beschreibungen, welche z. T. mehrere Jahrhunderte zurückliegen.

Anhand dreier Beispiele von Massenbewegungen werden Maßnahmen vorgestellt, welche in erster Linie auf die Wasserführung im Untergrund einwirken. Dabei werden sogenannte Großhangrutschungen vorgestellt, die aufgrund ihrer großflächigen, tiefgreifenden und großvolumigen Massenumlagerung auch als Jahrhundertereignisse bezeichnet werden.

Es ist dies zunächst die Rindberggrutschung in der Gemeinde Sibratsfäll in Vorarlberg, welche sich 1999 ereignete, dann die Massenbewegung Doren, ebenfalls in Vorarlberg im Bregenzer Wald, bei welcher 2007 ein großer Bewegungsschub auftrat, sowie der Gschliefgraben in der Gemeinde Gmunden in Oberösterreich, bei dem 2007/2008 ein Jahrhundertereignis zu verzeichnen war. Bei der Vorstellung dieser Großhangbewegungen wird nur auf die wesentlichsten Merkmale der Untergrundverhältnisse und Maßnahmen in vereinfachter Form eingegangen.

## 2. Großhangbewegung Sibratsfäll

### 2.1. Lage

Im Gemeindegebiet von Sibratsfäll (Vorarlberg) sind sowohl der Siedlungsraum Sibratsfäll als auch die Ortsteile Rindberg und Scheibladegg von Großhangbewegungen erfasst. Das Untersuchungsgebiet liegt etwa 30 km östlich von Bregenz im Bregenzer Wald (BEV, ÖK 50, Blatt 112 Bezau). Die Massenbewegung untergliedert sich in mehrere Teilbereiche, wie in Fig. 1 dargestellt.

### 2.2. Methodik

Das Arbeitsgebiet wurde umfassenden Kartierungen sowohl der Gesteinsinhalte mit lithofaziellen Beschreibungen als auch der Grund- und Oberflächenwassersituation unterzogen. Ebenso erfolgten mehrfach umfangreiche Oberflächenvermessungen sowohl terrestrisch als auch in Form von Laserscanbefliegungen. Weiters wurden Aufschlussbohrungen abgeteuft, welche z. T. als Inklinometersmessstellen ausgebaut worden sind. Zudem wurden Schürfe zur Materialansprache und Probenahme hergestellt. Die Proben wurden umfangreichen Laboruntersuchungen zur Bestimmung der geotechnischen und



Fig. 1: Anbruchbereiche im Gebiet Rindberg (Foto: W. JARITZ, Bearbeitung: G. MOSER, 1999).  
Crack area Rindberg (photograph: W. JARITZ, processing: G. MOSER, 1999).

hydrogeologischen Eigenschaften der Gesteine unterzogen. Zur zeitlichen Zuordnung von einzelnen Bewegungsereignissen erfolgten auch  $^{14}\text{C}$ -Datierungen an Hölzern aus den bewegten Massen. Schließlich wurden auch zahlreiche geophysikalische Messmethoden wie Aerogeophysik, Oberflächengeophysik und Bohrlochgeophysik eingesetzt. Die Ergebnisse diverser Untersuchungen wurden in numerischen und kinematischen Modellen verarbeitet, um einerseits die Auswirkung von Sanierungsmaßnahmen simulieren zu können und andererseits die Positionierung von Sanierungsmaßnahmen zu optimieren.

## 2.3. Geologie/Hydrogeologie

### 2.3.1. Geologischer Rahmen

Das Gemeindegebiet von Sibratsgfall liegt am Nordrand der Kalkalpen und besteht aus vier tektonischen Einheiten: dem Helvetikum, der Liebensteiner Zone, der Feuerstätter Zone und dem Rhenodanubischen Flysch. Diese genetisch nebeneinander entstandenen Einheiten wurden im Zuge der alpidischen Gebirgsbildung übereinander geschoben, wobei das Streichen der Serien und auch der tektonischen Einheiten im wesentlichen SW-NE verläuft. Das Schichtfallen ist mittelsteil nach SE gerichtet.

Eine massive Landschaftsüberprägung erfolgte im Quartär durch den Subersach- und den Rheingletscher insbesondere durch die Erosion der Flyschdecken und der glazigenen Sedimentation an den Bergflanken und in den Tälern (G. MOSER & W. JARITZ, 1999a, 1999b, 2000).

Der Rhenodanubische Flysch (Barreme–Apt) ist durch pelagische Sedimentation von Suspensionsströmen gekennzeichnet und im Arbeitsgebiet durch Sandsteine, Kalkmergel und Zementmergel charakterisiert.

Die Liebensteiner Zone (Apt–Mitteleozän) stellt mit hell- bis dunkelgrauen Kalken und Mergel küstenferne Ablagerungen dar.

Die Feuerstätter Zone (Paläozän–Eozän) an der Basis des Rhenodanubischen Flysches weist tektonisch stark überprägte und sehr heterogene Gesteinsserien auf. Diese tektonische Einheit besitzt einen hohen Anteil an veränderlich festen Gesteinen, wobei im Hinblick auf das Schadensereignis folgende Gesteinsserien erwähnenswert sind:

- Junghansen Schichten: pelitische Tonschiefer mit unterschiedlichen Sandgehalten, dunkle Mergel sowie Konglomerate und Breccien,
- Schelpen Serie: graue Tonmergel, Sandsteine und Sandkalke,
- Feuerstätter Sandsteine: dichte glaukonithältige Sandsteine mit tiefen Zerrspalten und Klüften,
- Aptychen Schichten: hellgraue, dünnbankige Mikrite in Wechsellagerung mit dunkel- bis hellgrauen Mergeln.

### 2.3.2. Hydrogeologie

Die Gesteine des Bewegungsareals zeigen mit Ausnahme der tieferen Abschnitte der Eisseesedimente, die kiesig-sandig ausgebildet sind, sowie dem grobkorndominierten Hangschutt meist geringe Wasserdurchlässigkeiten. Die damit einhergehenden seichten Entwässerungen und das Vorhandensein konzentrierter Wasserwege bewirken eine nur geringe zeitliche Verzögerung zwischen oberirdischen und unterirdischen Abflüssen. Somit zeigen auch die Bewegungen insgesamt eine stark witterungsbedingte Dynamik.

Im Sibratsgfäller Becken sind durch den Feinteilreichtum der Seeablagerungen häufig Stauvernässungen zu beobachten. Im Liegenden der Eisseesedimente treten überwiegend grobklastische Sedimente auf, in denen aufgrund der feinkörnigen Überlagerung z.T. ein eingespannter Grundwasserkörper vorhanden ist. Das Druckniveau dieses Grundwassers, welches in Tiefen von 40 m bis 60 m erbohrt wurde, liegt z.T. über dem Geländeniveau.

### 2.4. Bewegungsbild

Die Bewegungen Sibratsgfäll/Rindberg/Scheibladegg sind gekennzeichnet durch stark unterschiedliche Geschwindigkeiten von langsamen Kriechbewegungen im Bereich von Dezimetern pro Jahr bis zu schnell ablaufenden Erd-/Schuttströmen mit Maximalgeschwindigkeiten bis in den Zehnermeterbereich pro Tag.

Im Siedlungsgebiet von Sibratsgfäll verläuft die Bewegung an feinkörnigen Abfolgen innerhalb von komplex aufgebauten Lockersedimenten, welche als letzteiszeitliche, spätglaziale Seesedimente im Sibratsgfäller Becken abgelagert wurden. Es existieren mehrere Gleitflächen, deren Tiefe bei 10–12 m und bei 30 m unter Gelände liegt.

Die Bewegung Rindberg/Scheibladegg gliedert sich in mehrere Teilbereiche mit unterschiedlicher Bewegungsdynamik. Hier sind es vor allem die Gesteine der Feuerstätter Decke mit ihrem hohen Anteil an veränderlich festen Gesteinen, welche bei Wasserzutritt mit einer starken Konsistenzverringering reagieren. Besonders erwähnenswert sind dabei die Gesteine der Junghansen Schichten und der Schelpen Serie, welche dieser Dynamik folgen. Während seit dem Ereignis 1999 insgesamt wieder eine Beruhigung eingesetzt hat, bewegt sich der Erd-/Schuttstrom Bader auch heute noch aktiv mit einer Geschwindigkeit von mehreren Metern pro Jahr. Beim Ereignis 1999 wurden mehrere Objekte zerstört, unter anderem die Kapelle Rindberg (Fig. 2).

Als Ursache für die Bewegungen kann die durch die Gletschererosion erfolgte Übersteilung der Böschungen angesehen werden. Dabei kam es zu Ausgleichsbewegungen in



Fig. 2: Zerstörung der Kapelle Rindberg im Zuge des Ereignisses 1999 (Foto: W. JARITZ).  
Destruction of Rindberg chapel during the incidents of 1999 (photograph: W. JARITZ).

Form von tiefgreifenden Absetzungen, welche insbesondere durch das Auftreten von veränderlich festen Gesteinen der Junghansen Formation begünstigt werden. So entstanden massive Materialverluste im Oberhang und Materialkumulationen im Unterhang. Die so entstandenen Gefügeflockerungen begünstigten zudem Verwitterungserscheinungen und die Durchfeuchtung des Untergrundes. Im Bereich Rindberg fungiert insbesondere die Junghansen Formation mit gegenüber Wasserzutritten sehr sensiblen Tonschiefern, welche bei Befeuchtung nach kurzer Zeit vom Festgestein in eine plastische Form übergehen, als Gleitmittel für spröde reagierende Gesteinsanteile. Dazu zählen in erster Linie die Gesteine der Aptychen Schichten und der Feuerstätter Sandstein.

Als laufender Prozess können die gravitativen Spannungsumlagerungen angesehen werden, welche in Form langsamer, plastischer Verformungen, also als Kriechbewegung des Hanges, auftreten.

Zudem kommt es immer wieder zu Großereignissen, welche ihren Auslöser in klimatischen Sondersituationen haben und zu raschen Ausgleichsbewegungen des Hanges führen. Mindestens sechs dieser Ereignisse konnten durch  $^{14}\text{C}$ -Datierungen nachgewiesen werden. Auch das Ereignis von 1999 fand seinen Auslöser in Form einer sehr raschen Schneeschmelze und Niederschlägen von etwa 520 mm im Monat Mai. Das Ereignis gliedert sich in die Anbruchgebiete Sommerstadel, Feuerstätterkopf und Lustenauer-Ries-Alpe, der Anbruch Sommerstadel ist in Fig. 3 abgebildet.

## 2.5. Maßnahmen

Auf Basis der gesamten Untersuchungen erfolgt eine Evaluierung von Maßnahmen zur Verringerung des bestehenden Gefahrenpotenzials. Dazu zählen sowohl raumplanerische Maßnahmen, wie etwa die Ausweisung von Bauverbotszonen, als auch bauliche Maßnahmen wie auch die Vorgabe von Untersuchungs- und Ausführungsdetails im Zuge des Bauverfahrens. So wurden bzw. werden im Bereich des Siedlungsgebietes Sibratsfäll Vorbehaltsflächen ausgewiesen, wenn nachweislich Bewegungsgeschwindigkeiten



Fig. 3: Anbruchbereich Sommerstadel (Foto: W. JARITZ, 1999).  
Crack area Sommerstadel (photograph: W. JARITZ, 1999).

in Form von Kriechbewegungen mit maximal 3 cm/Jahr vorhanden sind. Auf diesen Flächen kann unter Einhaltung baulicher Vorkehrungen weiterhin gebaut werden.

Neben den baulichen und raumplanerischen Aspekten sind es vor allem Entwässerungsmaßnahmen, welche auch bei tiefliegenden Gleitflächen zum Einsatz kommen. Ziel dieser Maßnahmen ist das Hintanhalten des Eindringens von Oberflächenwässern in den Untergrund und der Abbau von vorhandenen Porenwasserdrücken.

So ist an der Grenze der Eisseablagerungen zum Terrassenkörper die Errichtung einer Tiefdrainage geplant. Damit soll eine Durchfeuchtung und somit Konsistenzverringering der feinkörnigen Eisseablagerungen verhindert werden und somit die Scherfestigkeit dieser Sedimente soweit erhöht werden, dass die Ausbildung von Gleitflächen nicht mehr möglich ist.

Weiters sollen Sickerwässer im Bereich von den in das Becken von Sibratsgfäll mündenden Schwemmfächern gefasst und schadlos ausgeleitet werden.

### 3. Großhangbewegung Doren

#### 3.1. Lage und Morphologie

Doren liegt im Bezirk Bregenz in Vorarlberg (BEV, ÖK 50, Blatt 83 Sulzberg). Die Massenbewegung Doren weist immer wiederkehrende Bewegungen auf, die an einer steilen Abbruchwand beginnen, welche die weitläufige Terrasse von Doren begleiten und sich im Fußbereich der Wand sowie in einem etwa 700 m langen Erd-/Schuttstrom bis zur Weißach fortsetzen.

Die Bewegung erfasst einen etwa 200 m breiten Streifen dieser Terrasse östlich des Kirchgrabens. Die Abbruchwand folgt hinsichtlich ihrer Neigung dem Einfallen der Mergel- und Sandsteinschichten und weist eine Höhe von etwa 60 m auf.

## 3.2. Methodik

Neben einer genauen geologischen Kartierung wurden zahlreiche Feld- und Laborversuche durchgeführt. Bei den Feldversuchen sind vor allem Kernbohrungen, welche z.T. zu Inklinometer- Piezometer- und TDR-Messstellen ausgebaut wurden, geodätische und geophysikalische Messungen zu erwähnen. Im Labor wurden insbesondere Korngrößenverteilungen, Zustandsgrenzen, Wassergehalte und Scherparameter bestimmt.

## 3.3. Geologie/Hydrogeologie

### 3.3.1. Geologischer Rahmen

Das Weißachtal erfuhr im Zuge der letzten Vereisungsperiode insbesondere durch den Rheingletscher eine starke landschaftliche Überprägung. Dabei wurden Täler und Hänge mit Grundmoränen und später auch mit Sedimenten der Abschmelzphase bedeckt. Die darauffolgende Erosionsphase erreichte wiederum den tertiären Untergrund.

Doren liegt auf einer aus tertiären Molassegesteinen aufgebauten Terrasse mit Moränenbedeckung. Die der Unteren Süßwassermolasse zugerechneten Ablagerungen spiegeln mit einer Sedimentverteilung von Kiesen, Sanden, Schluffen und Tonen die heterogenen Sedimentationsbedingungen auf Schwemmfächern im flachen Molassemeer wieder. Diese sogenannten Weißsachschiechten bauen den lokalen Untergrund mit einer kleinräumig verzahnten Wechselfolge von Konglomeraten, Sandsteinen, Mergeln und Tonsteinen auf.

Die der subalpinen Molasse zugerechneten Gesteine sind durch eine starke tektonische Beanspruchung gekennzeichnet. So sind die Weißsachschiechten steil aufgeschoben und zeigen starke Bruchverformungen mit der Anlage von N-S streichenden Störungen. Das Einfallen der Weißsachschiechten erfolgt mit 30–50° nach SE, das Streichen ist parallel zum Talverlauf angelegt. Figur 4 zeigt die Abbruchwand mit dem hangparallelen Schichtfallen (G. MOSER & W. JARITZ, 2008).



Fig. 4: Abbruchwand in den Weißsachschiechten mit hangparallelem Schichtfallen (Foto: W. JARITZ).  
Crack face at Weißsach layers with slope parallel bedding (photograph: W. JARITZ).

### 3.3.2. Hydrogeologie

Die heterogene Kornzusammensetzung und das deutlich ausgeprägte Trennflächengefüge bestimmen auch die hydrogeologischen Eigenschaften der Weißsachschichten. Sie sind mit Kluftöffnungsweiten bis in den Zentimeterbereich als gute Wasserleiter zu bezeichnen.

Auch die oben erwähnten N-S streichenden Störungen sind für die Ausbreitung des Bergwasserspiegels wesentlich und ermöglichen eine Verbreitung des Grundwassers auch über Gesteinsgrenzen hinweg. Dies führt zu Piezometerniveaus, die z. T. deutlich über den Geländehöhen liegen. Das Fließen der Kluftwässer erfolgt hauptsächlich in kompetenten Gesteinen parallel zum Streichen.

### 3.4. Bewegungsbild

An der Massenbewegung Doren sind verschiedene Bewegungsmechanismen beteiligt:

- Die obere Abbruchwand ist durch talwärts einfallende Trennflächen und einen Wechsel von kompetenten zu inkompetenten Gesteinen gekennzeichnet. Entlang der Trennflächen kommt es insbesondere auf Grund der hohen Wasserdrücke zu Felsgleitungen.
- Im Fußbereich der Gleitung sind Rotationsrutschungen mit bis zu 27 m tiefen Gleitflächen vorherrschend, welche durch hohe Porenwasserdrücke begünstigt werden.
- Daran anschließend entwickelt sich ein 600 m langer Erd-/Schuttstrom, welcher bis zur Weißsach reicht und aus weitgehend wassergesättigten Lockergesteinsmassen aufgebaut ist.

Im Bereich der Abbruchwand wirkt sich besonders das Trennflächengefüge mit seiner hangparallelen gebogenen Ausprägung negativ auf die Stabilität der Wand aus. Zudem zeigt sich eine starke Auflockerung des Schichtverbandes.

Über das Trennflächengefüge der tertiären Festgesteine werden Kluftwässer in die Erd-/Schuttstrommassen am Fuß der Abbruchwand eingetragen, was bei freien Abflussverhältnissen zu keinem erhöhten Schadenspotenzial führen würde. Da jedoch der freie Abfluss häufig durch Kriechbewegungen der Lockergesteinsmassen unterbunden wird, steigt das Druckniveau und somit auch die Mobilität der Masse.

Bei hoher Aktivität des Erd-/Schuttstromes wird auch der Wandfuß freigelegt, was wiederum ein erhöhtes Potenzial zu Felsgleitungen erzeugt. Damit wird die Belastung auf dem Erd-/Schuttstrom erhöht und dessen Aktivität gesteigert. Dokumentierte Ereignisse liegen von 1927 und 1935 vor. Diese führten zum Bau eines Drainagestollens, des sogenannten STINY-Stollens. Im Jahr 2007 wurden stark erhöhte Aktivitäten des Erd-/Schuttstromes festgestellt, wobei ein 10–15 m mächtiger Schichtstapel abgeglitten ist. Insgesamt können die hohen in situ gemessenen Wasserdrücke als Hauptfaktor für Felsgleitungen und auch für die talseitigen Rotationsrutschungen betrachtet werden.

### 3.5. Maßnahmen

Zur Planung der Maßnahmen wurden – basierend auf den Untersuchungsergebnissen – rechnerische Nachweise hinsichtlich der Standsicherheit zum Zeitpunkt der Untersuchung und der Bauphasen geführt.

Zur Sicherung der Felsböschung werden folgende Maßnahmen umgesetzt:

- Vakuumentwässerung mit Drainagebohrungen (Durchmesser=600 mm, Tiefe=60–70 m) mit messtechnischer Überwachung,

- weiche Stützverbauten im Bereich der Böschungsschulter,
- Nagelwand am Fuß der Felsböschung mit 10–15 m langen Einstabankern.

Im Bereich der Rotationsrutschung wird der Wassergehalt mittels Vertikaldrains reduziert und im Bereich des Erd-/Schuttstromes erfolgt eine Ausleitung der Oberflächenwässer durch Drainagegräben. An der Weißach selbst wird das Ufer schließlich durch wasserbautechnische Maßnahmen stabilisiert.

## **4. Großhangbewegung Gschlifegraben**

### **4.1. Lage/Morphologie**

Der Gschlifegraben liegt im Gemeindegebiet von Gmunden (BEV, ÖK 50, Blatt 66 Gmunden) am Ostufer des Traunsees.

Während sich der Grünberg im N auf etwa 1000 m ü. A. und der Traunstein im S auf ca. 1690 m ü. A. erheben, bildet der Gschlifegraben eine W-E orientierte dazwischen liegende Senke.

### **4.2. Methodik**

Neben umfangreichen Aufschlusstätigkeiten in Form von Kernbohrungen, Schürfen und einer detaillierten geologisch/hydrogeologisch/geomorphologischen Kartierung im Sinne einer kompletten Neuaufnahme, wurden zahlreiche Feld- und Laborversuche durchgeführt. Erwähnenswert sind bei den Feldversuchen vor allem die zum Großteil mit Inklinometerrohren, TDR(Time Domain Reflectometry)-Kabel und Piezometermesssonden instrumentierten Kernbohrungen. Neben Bohrlochgeophysik kam auch Oberflächengeophysik in Form von Seismik, Geoelektrik und Aeroeophysik zum Einsatz. Zudem wurden Tracerversuche zur Bestimmung von Fließgeschwindigkeiten und Leitfähigkeitsmessungen zur Unterscheidung von Einzugsgebieten durchgeführt.

### **4.3. Geologie/Hydrogeologie**

#### **4.3.1. Geologischer Rahmen**

Im Bereich des Gschlifegrabens liegen drei tektonische Einheiten in einem räumlichen Naheverhältnis, der Rhenodanubische Flysch, das Ultrahelvetikum und die Nördlichen Kalkalpen. Während der Grünberg im N dem Rhenodanubischen Flysch zugerechnet wird, wird der Gschlifegraben aus ultrahelvetischen Gesteinen aufgebaut. Die südlich anschließenden Felsflanken gehören den Kalkalpen und seiner Randzone an (G. MOSER & W. JARITZ, 2009).

Das Ultrahelvetikum wurde zwischen Unterkreide und Eozän am flachen Schelfbereich und dem angrenzenden Kontinentalabhang der Europäischen Platte abgelagert. Durch tektonische Vorgänge im Zuge der alpidischen Gebirgsbildung wurde das Ultrahelvetikum steil zwischen dem Rhenodanubischen Flysch und dem Kalkalpin eingespannt. Die Gesteinsserien des die wesentlichen Abschnitte des Gschlifegrabens aufbauenden Ultrahelvetikums können folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Grestener Formation, grobkörnige Sandsteine,
- Buntmergel Gruppe mit roten, grauen, grünlichen und dunklen Mergeln, tektonisch stark beansprucht,

- glaukonitische Mergel/Glaukonitsandsteine, dunkle, schiefrige Tonmergel mit unterschiedlich hohen Sandgehalten,
- Nummulitenkalke, graue Kalke mit Nummuliten.

#### 4.3.2. Hydrogeologie

Das hydrogeologische Einzugsgebiet des Gschlifgrabens erstreckt sich einerseits auf die Kluftgrundwasserdotation aus dem Kalkalpin des südlich anschließenden Traunsteins und andererseits auf seicht abfließende Hangwässer kompetenter Gesteine des Rhenodanubischen Flysches aus dem N. Begünstigt wird der Eintrag aus S vor allem durch lokal Richtung N fallende Schichtflächen des Kalkalpins.

Sehr wesentlich sind innerhalb des Gschlifgrabens grobklastische Lagen innerhalb der ehemaligen und rezent aktiven Rutschmassen. Hier sind es einerseits Wildbachtotter rezenter und ehemaliger Landoberflächen und andererseits durch Auswaschung von Feinteilen entstandene grobklastische Bereiche sowie Felssturzmaterial, welche als bevorzugte Wasserwege dienen. Diese Sedimentverteilung verhindert einen großflächig durchgehenden Grundwasserkörper zu Gunsten linear abfließender, oft kleinräumiger Grundwasservorkommen.

Da durch die heterogene Verteilung der durchlässigeren Abschnitte, aber auch infolge von Kriechbewegungen der freie Ausfluss von Grundwässern häufig unterbunden ist, treten z. T. Druckniveaus auf, die deutlich über jenem des wasserführenden Horizonts liegen. Diese können auch über Gelände liegende Höhen erreichen.

#### 4.4. Bewegungsbild

Größere Bewegungen wurden beim aktuellen Ereignis erstmals ab Ende November 2007 im Bereich der Gschlifgraben Forststraße festgestellt. Dabei wurden frühere Erd-/



Fig. 5: Scherfläche innerhalb der feinkörnigen Verwitterungsderivate des Ultrabaselvikums mit einer deutlich bewegungsorientierten (E-W) Striierung (Foto: G. MOSER, 2008).  
Shear plane inside the fine-grained weathered Ultrabaselvikum with a surface clearly affected by the direction of motion (photograph: G. MOSER, 2008).

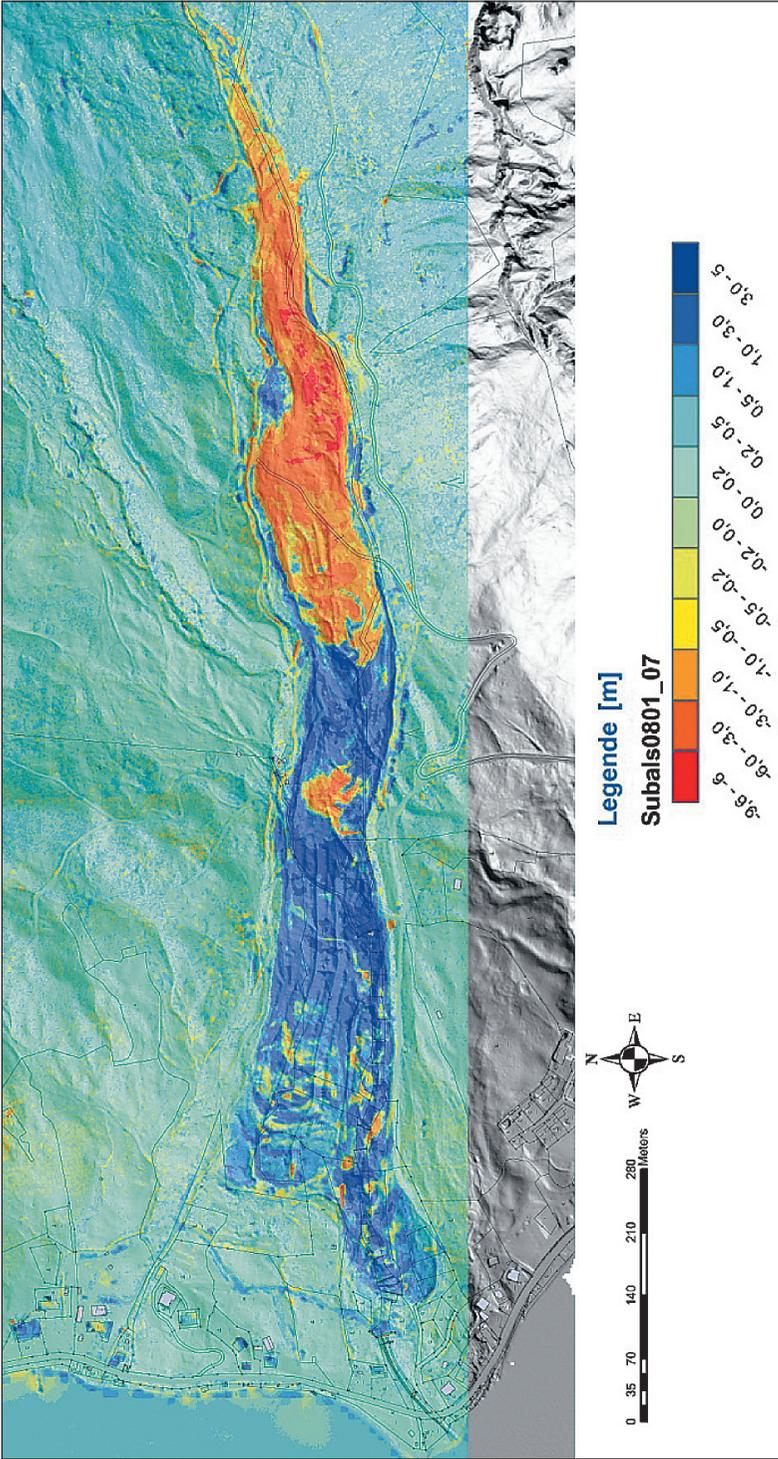


Fig. 6: Differenzenmodell Laseranbefliegungen 3.1. 2008 und 5. 4. 2007. Legendenangaben in Meter-Kategorien. (Grafik: Wildbachverbauung Sektion Oberösterreich.)  
 Difference model of Laser scan flights on 3 January, 2008 and on 5 April, 2007, dimension unit: meters. (Graphic: Wildbachverbauung Sektion Oberösterreich.)

Schuttstrombereiche im Ausmaß von etwa 5 ha remobilisiert. Als Auslöser können starke Materialzuwächse im oberen Gschlifgraben bzw. deren Auflast angesehen werden. Das Gesamtausmaß der Bewegung erreichte schließlich eine Fläche von knapp 30 ha und eine bewegte Masse von knapp 4 Mio. m<sup>3</sup>. Die maximalen Bewegungsgeschwindigkeiten wurden mit 4,7 m/d gemessen.

Bis Februar 2008 war ein deutlicher Fortschritt der Bewegungen erkennbar, erst ab März 2008 zeigte sich eine Verringerung, wobei die Bewegungen am Fußbereich, also im Siedlungsraum bzw. dessen Nahbereich, bis Juni anhielten.

Der Gschlifgraben weist eine große Vielfalt an Bewegungstypen auf, wobei neben dem Gleiten, welches den maßgeblichen Teil der im Graben selbst ablaufenden Bewegungen darstellt, auch Stürzen, Kippen und Kriechen zu beobachten ist. Figur 5 zeigt eine Scherfläche innerhalb der Verwitterungsderivate des Ultrahelvetikums. Dabei wurde durch die künstliche Trockenlegung der talseitigen Sedimente der Scherwiderstand so weit erhöht, dass die Ausbildung einer aufsteigenden Scherbahn (listrische Fläche) die Folge war.

Im nördlichen Fußbereich des Traunsteins sind durch die Lage des Kalkalpins auf verformungssensiblen Untergrund (Haselgebirge, Ultrahelvetikum) ständig Spannungsumlagerungen vorhanden, welche sich laufend sowohl in Bergzerreißungsphänomenen als auch in Form von Felsstürzen und Felsgleitungen zeigen. Die Massenumlagerungen im gesamten Gschlifgraben sind in dem aus den Laserscanbefliegungen vom 5. 4. 2007 und 3. 1. 2008 gewonnenen Differenzenmodell gut erkennbar, wobei rote Farbtöne ein Massendefizit und blaue Farbtöne einen Massenzuwachs darstellen (Fig. 6).

#### 4.5. Maßnahmen

Noch Ende Dezember 2007 wurden die ersten gravitativen Entwässerungsbrunnen gebohrt, deren insgesamt knapp 300 im Laufe der Maßnahmenumsetzung errichtet wurden. Mittels dieser Bohrungen werden zwar meist nur kleinere Wassermengen gefördert, allerdings wird das hydrostatische Niveau des Grundwassers auf einen tieferen Stand abgesenkt und so der Wasserdruck auf die über den wasserführenden Schichten liegenden feinteilreichen Verwitterungsderivate des Ultrahelvetikums verringert.

Zudem wurden zur schadlosen Ableitung von Oberflächenwässern bzw. seichten Hangwässern Entwässerungsschlitze gegraben, welche mit grobem Bruchmaterial verfüllt worden sind und neben der Drainagefunktion auch stabilisierend wirken.

In jenen Bereichen des Rutschungsfußes, in denen eine ausreichende Absenkung des hydrostatischen Niveaus möglich war, wurden Materialentnahmen in größerem Umfang durchgeführt. Die Absenkung des Wasserspiegels war dabei insofern von Bedeutung, als eine Verringerung der Auflast insbesondere bei gespannten Grundwässern eine Zunahme der Bewegung begünstigt hätte. Der Materialtransport wurde zudem nur auf ein etwa vor dem Ereignis vorliegendes Geländeniveau durchgeführt.

Da ein Pumpbetrieb im Sinne einer Wasserhaltung bei den Entwässerungsbrunnen aufgrund der sehr dezentralen Möglichkeiten der Reduktion des hydrostatischen Drucks nur über einen begrenzten Zeitraum aufrecht erhalten werden kann, wurden Freispiegelableitungen in den Bohrungen eingerichtet. Dabei wird – ausgehend von einem berechneten zulässigen Druckniveau – eine gravitative Ausleitung und schadlose Abfuhr von Grundwasser im Falle eines Anstieges auf dieses Niveau geschaffen.

Zur Zeit wird ein Frühwarnsystem ausgearbeitet, welches bei einer Remobilisierung von Bewegungen das ehestmögliche Ergreifen von Gegenmaßnahmen gewährleisten soll.

## 5. Zusammenschau der Ergebnisse

Dass die Menge, das Druckniveau und die Bewegung des Wassers im Untergrund eine entscheidende Rolle für die Mobilität und somit das Potenzial für Massenbewegungen spielt, konnte anhand der drei Beispiele und vor allem der auf Wasserausleitungen konzentrierten Sanierungsmaßnahmen bereits gezeigt werden. Trotz der recht verschiedenartigen Untergrundverhältnisse und der unterschiedlich ablaufenden Bewegungen bei den drei vorgestellten Massenbewegungen, Sibratsfäll, Doren und Gschlifgraben, gibt es gemeinsame Merkmale, welche insbesondere im Bereich der Bedeutung des Grundwassers für die Rutschungsdynamik liegen. Während die spröde reagierenden Festgesteine mit einem deutlich ausgeprägten Trennflächengefüge häufig als Wasserwege und Infiltrationskörper dienen, sind es vor allem die veränderlich festen Gesteine, welche bei entsprechender Durchfeuchtung entweder zur Rutschmasse oder zum Gleithorizont werden.

Bei der Betrachtung der Ereignisse muss zwischen den Ursachen und Auslösern unterschieden werden. Die Ursachen für Massenbewegungen sind sehr häufig in längerfristigen Prozessen wie Verwitterung, Kriechbewegungen und langsamen Wassereinträgen zu suchen, die einen Hang in ein labiles Grenzgleichgewicht versetzen. Als Auslöser für ein Bewegungsereignis reichen dann mitunter länger anhaltende oder stärkere Niederschläge, rasche Schneeschmelzen oder eine Kombination verschiedener Ereignisse.

### 5.1. Ursachen

Wie in der Gemeinde Sibratsfäll deutlich wird, ist eine zunehmende Verwitterung der veränderlich festen Gesteine eine Voraussetzung dafür, dass eine größere Bewegung initiiert wird. Gleiches gilt auch für den Gschlifgraben, wo in einem Zyklus von etwa 100 Jahren ein ausreichender Verwitterungs- bzw. Wassersättigungsgrad der ultrahelvetischen Gesteine erreicht wird. Aufgrund der Kluftwassereinträge in tiefere Abschnitte der rutschungsanfälligen Gesteine, wie etwa durch die Feuerstätter Sandsteine in Sibratsfäll oder die kalkalpinen Gesteine im Gschlifgraben, erreicht die Durchfeuchtung der an sich gering durchlässigen Tonschiefer bzw. Tonmergel ebenso größere Tiefen. Somit ist auch die Ausbildung tiefer, im Zehnermeterbereich unter Gelände liegender Gleitflächen möglich.

### 5.2. Auslöser

Wie in Kap. 5.1 beschrieben, sind meist längerfristige Prozesse als Voraussetzung für die Entstehung von Massenbewegungen gegeben. Ist der Hang durch die oben beschriebenen Verwitterungs- und Wassersättigungsprozesse in einem labilen Grenz Zustand, so genügen z. B. im Fall der Rindberggrutschung länger anhaltende oder intensivere Niederschlagsereignisse bzw. eine rasche Schneeschmelze, um ein größeres Bewegungsereignis auszulösen. Im Fall des Gschlifgrabens ist es wiederum die Materialakkumulation durch Felsstürze, Felsgleitungen oder Rotationsanbrüche im Oberhangbereich auf stark wassergesättigten ultrahelvetischen Sedimenten, die als Auslöser für das Ereignis 2007/2008 angesehen wurde. Aufgrund der rascheren Wasserwegigkeit in Sibratsfäll ist jedoch eine deutlich höhere Korrelation der Bewegung mit Niederschlagsereignissen gegeben, als dies beim Gschlifgraben der Fall ist. In Doren ist sowohl der niederschlagsbedingte Anstieg des Grundwasserdruckniveaus als auch die dadurch verstärkte Belastung des obersten Abschnittes des Erd-/Schuttstromes durch Felsgleitungen als Auslöser der Bewegung im Jahr 2007 zu betrachten.

### 5.3. Maßnahmen

Wie in den Beispielen Sibratsgfall, Doren und Gschlifgraben beschrieben, wurde bei den Sanierungsmaßnahmen ein besonderes Augenmerk auf Wasserausleitungen gelegt. Während bei der Ableitung von Oberflächenwässern keine Einschränkungen anzuführen sind, muss bei der Ableitung von Grundwässern darauf geachtet werden, dass diese vor einer eventuellen Abfuhr von Rutschungsmassen erfolgt, um durch den Wasserdruck vorhandene Auftriebskräfte nicht durch ein verringertes Bodengewicht und somit eine Erhöhung der Mobilität der Rutschmasse zu begünstigen.

Bei einer Tiefenlage der Gleitflächen im Zehnermeterbereich, wie dies für die angeführten Beispiele zutreffend war, ist eine Ausleitung durch oberflächennahe Maßnahmen wie Drainagegräben und dergleichen nur begrenzt effizient, da eine Absenkung des hydrostatischen Druckes unter die Gleitfläche hier nur mehr durch Bohrungen zu gewährleisten ist.

## Zusammenfassung

Mit dem zunehmenden Verbauungsgrad von Naturräumen, aber auch durch klimatische Veränderungen im Sinne ausgeprägter Trocken- und Niederschlagsphasen, steigt auch das Gefahrenpotenzial für Konfliktsituationen zwischen Flächennutzung und Naturgefahren. Insbesondere Massenbewegungen stellen eine häufige Gefährdung von anthropogen genutzten Flächen dar und können durch die Notwendigkeit von Sanierungs- und Sicherungsmaßnahmen beträchtlichen volkswirtschaftlichen Schaden erzeugen.

Die geogenen Risikofaktoren von Massenbewegungen sind hierzulande meist auf zwei Hauptursachen zu reduzieren:

- Gesteinsinhalte mit Trennflächengefüge,
- Wasserwege und Wasserbewegungen im Untergrund.

Während der Gesteinsinhalt mit seinem Trennflächengefüge als unveränderbare Rahmenbedingung des Untergrundes betrachtet werden muss, sind im Bereich der Grundwasserwege und Grundwasservorkommen Eingriffsmöglichkeiten vorhanden, die zumindest als unterstützend bei der Sanierung von Massenbewegungen wahrgenommen werden können. Anhand von drei Beispielen werden Maßnahmen im Zuge von Großhangbewegungen beschrieben, deren Hauptfokus im Bereich der Beherrschung von unterirdischen Wasserflüssen liegt.

Es ist dies zunächst die Gemeinde Sibratsgfall in Vorarlberg, in welcher sich 1999 das letzte Großereignis zutrug, dann die Massenbewegung Doren, ebenfalls in Vorarlberg, im Bregenzer Wald, bei welcher 2007 ein großer Bewegungsschub auftrat, sowie der Gschlifgraben in der Gemeinde Gmunden in Oberösterreich, bei dem 2007/2008 ein Jahrhundertereignis zu verzeichnen war. Diese Ereignisse wurden und werden seitens des ZT-Büros Moser/Jaritz und im Auftrag der Wildbach- und Lawinenverbauung (Sektion Vorarlberg und Sektion Oberösterreich) geologisch/hydrogeologisch bearbeitet und betreut.

Trotz verschiedenartiger Untergrundverhältnisse in Sibratsgfall, Doren und Gmunden gibt es einige Parallelen im Bereich der hydrogeologischen Verhältnisse. So sind die Ursachen meist in längerfristigen Verwitterungsprozessen mit häufig wiederkehrenden Wassereinträgen zu sehen, die bei entsprechenden lithologischen Verhältnissen das labile

Grenzgleichgewicht eines Hanges erzeugen. Als Auslöser genügen dann oftmals bereits kleinere klimatische Ereignisse wie Schneeschmelzen oder Niederschläge, wie dies in Sibratsgfall der Fall war, oder aber auch Felssturzereignisse auf wassergesättigte Böden, wie sie beim Gschlifegraben in Gmunden beobachtet wurden.

Für die Mobilität einer Rutschmasse hat demnach die Verfügbarkeit von unterirdischen und oberirdischen Wässern einen entscheidenden Einfluss. Der geordneten und schadlosen Ableitung von Oberflächen- und Grundwässern kommt somit große Bedeutung zu.

## Literatur

- BEV (1982): ÖK 50, Blatt 66 Gmunden.– Österreichische Karte 1:50 000, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Wien.
- BEV (1988): ÖK 50, Blatt 83 Sulzberg.– Österreichische Karte 1:50 000, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Wien.
- BEV (1988): ÖK 50, Blatt 112 Bezau.– Österreichische Karte 1:50 000, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Wien.
- MOSER, G. & W. JARITZ (1999a): Hangbewegung Rindberg, Gemeinde Sibratsgfall – Geologische Erstbeurteilung.– Unveröff. Bericht, ZT-Büro Moser, GZ 9907066, 35 S., Gmunden.
- MOSER, G. & W. JARITZ (1999b): Hangbewegung Rindberg, Gemeinde Sibratsgfall – Weiterführende Untersuchungen.– Unveröff. Bericht, ZT-Büro Moser, GZ 9908075, 15 S., Gmunden.
- MOSER, G. & W. JARITZ (2000): Hangbewegung Rindberg, Gemeinde Sibratsgfall – Geologische Interpretation der geophysikalischen Untersuchungen.– Unveröff. Bericht, ZT-Büro Moser/Jaritz, GZ 0001005, 26 S., Gmunden.
- MOSER, G. & W. JARITZ (2008): Rutschung Doren – Geologisch-geotechnischer Abschlussbericht.– Unveröff. Bericht, ZT-Büro Moser/Jaritz, GZ 0712384, 72 S., Gmunden.
- MOSER, G. & W. JARITZ (2009): Großhangbewegung Gschlifegraben – Fachübergreifender Synthesebericht.– Unveröff. Bericht, ZT-Büro Moser/Jaritz, GZ 0905138, 185 S., Gmunden.

## Summary

With an increased development of our landscape as well as climatic changes with intensive dry and wet periods, a higher risk of natural disasters at areas utilized by humans (developed areas) is evident. Landslides in particular are seen as a significant hazard for settlement areas and can create considerable economic loss if remediation measures are required.

The major geogenic risk factors of landslide in Austria are:

- lithology with divisional surfaces,
- groundwater paths and properties.

While the existing rock and its divisional surfaces are immutable facts, groundwater offers a limited range of possibilities to engage and to support remediation of landslides. Using three big landslides as examples, remediation measures focused on groundwater control are shown.

In 1999 a big landslide happened in the municipality of Sibratsgfall in the province of Vorarlberg. The second example happened in Vorarlberg as well, in the municipality of Doren, where in 2007 a big landslide happened in the Bregenzer Forest. Finally a significant event in 2007/2008 took place in the municipality of Gmunden in Upper Austria. By order of the “Wildbach- und Lawinerverbauung” (Torrent and Avalanche Control) the geological and hydrogeological investigations and processing was done by the civil engineering firm Moser/Jaritz.

Although there are different subsoil conditions at each of these three cases, analogies are found especially in the field of hydrogeology. The cause of these landslides has always been a long-term weathering with frequently recurring water input. These are the preconditions at special lithological conditions

that produce an unstable limit equilibrium. In the case of advanced weathering and water saturation, already smaller climatic events like snowmelts and/or rainfalls can act as a trigger for landslides, as it was seen in Sibratsgfall. Also, rockfall events on saturated soils can trigger landslides, as seen at the Gschlifegraben in Gmunden.

The mobility of a sliding mass depends largely upon the availability of overland and groundwater flow. It is of utmost importance to discharge surface- and groundwater in a controlled way and free of damage.

## **Dank**

An dieser Stelle sei noch darauf hingewiesen, dass bei der Bearbeitung dieser Großereignisse eine Vielzahl von Personen beteiligt war, deren namentliche Nennung den Rahmen dieses Schriftsatzes sprengen würde. Der Autor möchte stellvertretend für alle Beteiligten, aber der Wildbach- und Lawinenverbauung und hier insbesondere den Sektionen Vorarlberg (Dr. A. REITERER) und Oberösterreich (HR DI W. GASPERL), für die ausgezeichnete Kooperation danken.

Schlüsselwörter: Massenbewegung, Rutschung, Großhangbewegung, Hangstabilität, hydrostatischer Wasserdruck

Keywords: mass movement, landslide, slope stability, hydrostatic pressure