



Internationales Symposium INTERPRAEVENT 2004 – RIVA / TRIENT

DIE MESSUNG PHYSIKALISCHER PARAMETER VON QUELLWÄSSERN - EIN EINFACHES UND EFFIZIENTES HILFSMITTEL BEI DER PROZESSANALYSE VON MASSENBEWEGUNGEN

FALLBEISPIELE: MASSENBEWEGUNGEN MISLALM UND LUDOIALM
(TIROL/ÖSTERREICH)

MEASUREMENTS OF THE PHYSICAL PROPERTIES OF SPRING WATER – AN EASY AND EFFICIENT TOOL FOR THE PROCESS ANALYSIS OF MASS MOVEMENTS

CASE STUDIES OF THE MISLALM AND THE LUDOIALM LANDSLIDES
(TYROL/AUSTRIA)

Lukas Pergher¹ und Ulrich Burger²

ZUSAMMENFASSUNG

Bei der geologisch-geomorphologischen Bearbeitung verschiedener Massenbewegungen in Tirol (Österreich) hat die Messung der physikalischen Parameter der Quellwässer (Temperatur, elektrische Leitfähigkeit, Schüttung) einen wesentlichen Beitrag zur Prozessklärung geleistet. Dieser Methode wird im Zusammenhang mit der Untersuchung von Massenbewegungen meist leider zu wenig Augenmerk gewidmet, dabei ist sie gerade für „low budget“-Projekte besonders interessant, da sie mit einfachen Mitteln und geringem Aufwand durchführbar ist. Quellen sind stets das Ergebnis hydrogeologischer Prozesse und stellen damit einen wichtigen Datenlieferanten für die Klärung der hydrogeologischen Verhältnisse eines Projektgebietes dar. Da meist Wasser den „Motor“ für Massenbewegungen darstellt, drängt sich eine Überwachung der auftretenden Quellen für eine Prozessanalyse auf. Je nach Fragestellung und Art des Projektes kann der Umfang der Messungen und der daraus ableitbaren Informationen variiert werden.

Key words: Massenbewegungen, Quellen, hydrophysikalische Parameter, Grundwasserströmung in gebirgigen Regionen, hydrologische Beweissicherung

1 Geologe, ILF Beratende Ingenieure ZT GmbH, Framsweg 16, 6020 Innsbruck, Österreich
(Tel.: +43-512-2412; Fax: +43-512-2412-200; email: info@ibk.ilf.com)

2 Hydrogeologe, ILF Beratende Ingenieure ZT GmbH, Framsweg 16, 6020 Innsbruck, Österreich

ABSTRACT

Measurements of the physical parameters of springs (temperature, electrical conductivity & discharge), made during the geomorphologic mapping of the study areas, contributed to the process analyses of different landslides in Tyrol, Austria. Unfortunately, this method is not seen as one of the standard tools for the elaboration of landslides. However, with regards to “low budget “projects, we show that it is a very efficient method to use and one that does not require expensive technical support. Springs are the local discharge foci of hydrogeological flow systems and can therefore be seen as the data delivery systems of the hydrogeological regimes in a study area. Because water is generally one of the major motors of mass movement events, a detailed monitoring of springs and outflows is seen as a requirement. The scale of the monitoring programme, and the information one intends to gain from it, are a function of the aims and type of project and is therefore variable.

Key words: landslides, springs, hydro-physical parameters, groundwater in mountainous area, monitoring programme

EINLEITUNG

Die Analyse von Rutschungen oder Hangbewegungen erfordert vom Bearbeiter stets eine vielseitige Arbeitsweise. Ausgehend von einer geologischen und geomorphologischen Kartierung gilt es, die Prozesse und Phänomene anhand lithologischer, strukturgeologischer, hydrogeologischer und auch meteorologischer Kriterien zu erklären. Obwohl das Wasser meist die zentrale Rolle bei Massenbewegungen spielt, wird häufig dennoch zu wenig Augenmerk auf eine detaillierte und flächendeckende Aufnahme und Bewertung von Quellaustritten in einer betreffenden Hangflanke gelegt – dabei stellen gerade die Quellen in wahrsten Sinne des Wortes eine wertvolle Datenquelle dar, wenn es um die Klärung der hydrogeologischen Verhältnisse einer instabilen Talflanke geht.

Im folgenden wird anhand zweier Fallbeispiele aufgezeigt, daß die detaillierte Dokumentation von Quellwässern und ihrer physikalischen Eigenschaften einen wesentlichen Beitrag bei der Ausarbeitung von Massenbewegungen leisten kann.

METHODIK

Methodisch kann zwischen einmaligen Messungen und periodischen Messungen der hydrophysikalischen Parameter Schüttung, Temperatur und elektrische Leitfähigkeit unterschieden werden. Während einmalige Messungen meist im Zuge der geologischen und geomorphologischen Kartierung durchgeführt werden, erfolgen periodische Messungen an ausgewählten und fixierten Messorten. Die Meßdichte und Meßdauer sind dabei abhängig von projektspezifischen Faktoren wie Zeitrahmen und Projektbudget.

Selten kann man im Zusammenhang mit Massenbewegungen auf Meßreihen hydrophysikalischer Parameter zurückgreifen, obwohl die Aussagekraft kontinuierlicher Aufzeichnungen bei der Klärung der auslösenden Mechanismen und damit der Planung von Maßnahmen sehr wertvoll sind.

Welche Hilfsmittel periodische Messungen bei der Beurteilung des Tiefganges von Grundwasserströmungen in gebirgigen Regionen bilden, sei am Beispiel periodischer Schüttungsmessungen an verschiedenen Quellen mit unterschiedlich hohen Austrittsorten gezeigt.

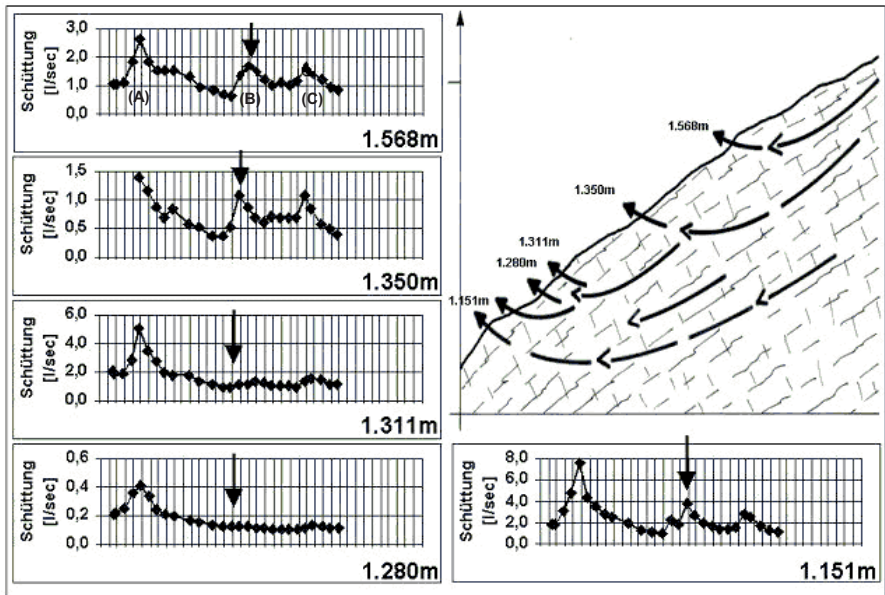


Abb.1: Schüttungsverhalten von Quellen mit unterschiedlichen Austrittshöhen und interpretierter Tiefgang der Grundwasserströmung in gebirgigen Regionen.

Fig. 1: Discharge behavior of springs with different discharge altitudes and interpretation of the groundwater flow system in the mountainous area.

In der Abb. 1 sind Schüttungsganglinien von Quellen aus dem unmittelbaren Nachbarbereich des Projektgebiets „Mislalm“ dargestellt. Deutlich wird, daß die hoch gelegenen Quellen (hohe Austrittsorte, hohe mittlere Einzugsgebiete) ein Schüttungsmaxima im Frühjahr 2001 (A), im Frühjahr 2002 (B) und im November 2002 (C) aufweisen.

Im Frühjahr 2002 läßt sich für Quellen mit topographisch tief gelegenem Austrittsort (1.311 und 1.280 müA) ein atypisches Verhalten feststellen: diese Quellen weisen kein Frühjahrsmaximum (B) auf (siehe Position der Pfeile in Abb.1). Dem gegenüber weisen jedoch hoch gelegene Quellen mit einem hohen mittleren Einzugsgebiet (1.568 und 1.350 müA) auch im Frühjahr 2002 ein Schüttungsmaximum (B) auf.

Auffallend ist, daß die am tiefstgelegene Quelle (1.151 müA) auch im Jahr 2002 ein Frühjahrsmaximum aufweist. Daraus läßt sich ein hohes mittleres Einzugsgebiet für diese Quelle postulieren. Gemäß der in Abb. 1 dargestellten hydrogeologischen Interpretation der Meßergebnisse ist die tiefgelegene Quelle mit hohem mittleren Einzugsgebiet gemäß der Grundwasserströmungstheorie von Tóth (1963) eine Entwässerung von regionalen und damit tiefliegenden Grundwasserströmen. Mittels hydrochemischer und isotoopenchemischer Daten ($\delta^{18}\text{O}$) wurde diese Interpretation geprüft und verifiziert. Eine Aussage über den Tiefgang von Grundwasserströmungen ist gerade im Fachbereich Georisiko speziell für die erste Abschätzung (ohne künstliche Aufschlüsse und Versuche) des Tiefganges von Massenbewegungen von größter Bedeutung.

Während auf kontinuierliche Messungen aus Kosten- und Zeitgründen oft verzichtet wird, ist eine einmalige Erhebung der hydrophysikalischen Daten im Zuge der Detailkartierung als Teil derselben zu sehen und damit zwingend notwendig. Erste hydro-dynamische Aussagen lassen sich bereits bei Betrachtung der flächenhaften Verteilung von Temperatur- und elektrischen Leitfähigkeitswerte sowie mittels Schüttungsvergleich machen.

PROJEKTGEBIET A: RUTSCHUNG MISLALM

Geografischer und geologischer Überblick

Das Projektgebiet A befindet sich in der nördlichen Talflanke des Navistales, welches als Seitental des Wipptales bei Matrei am Brenner Richtung Osten abzweigt (Abb. 2).

Die Massenbewegung liegt südwestlich des Miskkopfes (2.623 müA) und erstreckt sich nahezu über die gesamte Hangflanke (Abb. 3).

Geologisch gesehen liegt die Massenbewegung am Nordwestrand des Tauernfensters im Übergangsbereich zwischen Oberer Schieferhülle (Penninikum) im Süden und unterostalpinen Rahmen im Norden.

Die Gesteine des unterostalpinen Rahmens gehören der Innsbrucker Quarzphyllit-Zone und dem auflagernden Tarntaler Mesozoikum (Hippold und Reckner Decke) an. Die Innsbrucker Quarzphyllit-Zone beinhaltet hauptsächlich Phyllite mit unterschiedlichem Quarzgehalt sowie sporadisch Graphitphyllite. Das Tarntaler Mesozoikum, das im Bereich des Miskkopfes aufgeschlossen ist, besteht aus einer Abfolge von permotriassischen bis jurassischen klastischen wie karbonatischen Sedimenten sowie kleineren Vorkommen von Serpentiniten/Ophikalziten, die alle eine metamorphe Überprägung aufweisen. Im aufgeschlossenen Bereich der Oberen Schieferhülle des Tauernfensters treten Bündner Schiefer auf, die sich aus Kalkphylliten, kalkfreien bzw. kalkarmen Schwarzphylliten und Karbonatquarziten zusammensetzen. Der tektonische Kontakt zwischen Oberer Schieferhülle und Unterostalpin fällt mittelsteil bis steil nach Norden ein.

Im Projektgebiet sind vier Deformationsphasen mit anschließender Bruchtektonik nachweisbar (Miller et al., 1984). Wie der gesamte Westrand des Tauernfensters sind auch die Gesteine des Navistales durch die nahe Brennerabschiebung stark überprägt. Die überwiegende Hauptkluftrichtung ist steilstehend und streicht N-S. Die zugehörigen Klüfte stehen zum Teil weit offen und führten insbesondere im Kammbereich zur Ausbildung von tiefen Spalten.

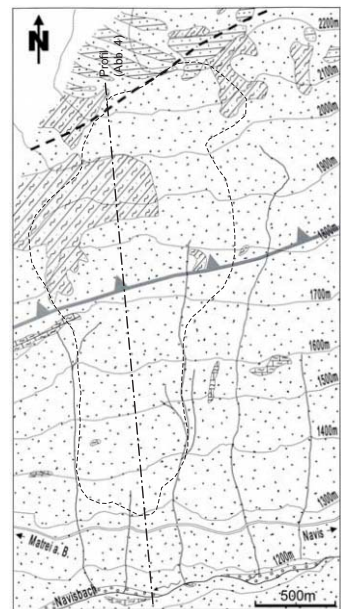
Beschreibung der Massenbewegung

Die Massenbewegung liegt wie erwähnt im Bereich der annähernd E-W-streichenden Grenze zwischen Unterostalpinem Innsbrucker Quarzphyllit und



Abb. 2: Lage der Massenbewegung Mislalm (Auszug aus der ÖK 1:50000 des BEV)

Fig. 2: Location of the Mislalm landslide



- Hang-/Blockschutt
- Rezente Bachsedimente
- Quarzit (Reckner Decke)
- Innsbrucker Quarzphyllit
- Kalkhaltige Phyllite (Bündner Schiefer)
- Störung (vermutet)
- Tektonische Grenze
- Massenbewegung

Abb. 3: Geologische Übersichtskarte des Projektgebietes A

Fig. 3: Geological map of the Mislalm landslide

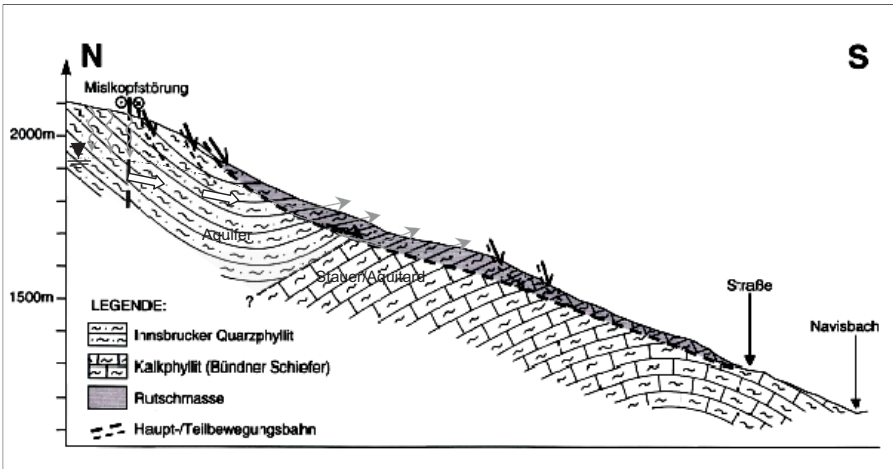


Abb. 4: Geologisches Profil durch die Massenbewegung Mislalm mit Wassertransportsystem (schematisch)

Fig. 4: Geological cross section of the Mislalm Landslide with hydrogeological flow system (schematic)

Penninischen Bündner Schiefern (Abb. 3 und 4) und reicht von ungefähr 2.200 müA bis auf eine Höhe von 1.300 müA.

Das Hauptabbruchgebiet der Rutschung befindet sich im anstehenden Quarzphyllit südwestlich des Miskopfes, zum Teil wurden auch die darunterliegenden Bündner Schiefer in den Rutschprozess miteinbezogen. Es lassen sich mehrere sichelförmige Anbruchnischen unterscheiden, die jeweils unterschiedlichen und sich überlappenden Ereignissen zuzuordnen sind. Der westlichste Fließkörper weist die größte Reichweite auf und hat sich schuttstromartig talwärts bewegt, wobei einzelne Teilbereiche des Körpers in jüngster Vergangenheit reaktiviert wurden. Durch den Rutschprozess wurde der Festgesteinsverband vollständig aufgelöst, der Rutschmasse setzt sich aus fein- bis grobkörnigem Lockermaterial zusammen, in dem zahlreiche Großblöcke „schwimmen“. Die Masse ist durchschnittlich 500 m breit und vermutlich zwischen 50 und 100 m mächtig (Abb. 4).

Im oberen Teil der Massenbewegung treten markante geomorphologische Strukturen wie Geländeabtreppungen, Spaltenbildungen und Nackentälchen in Erscheinung. Dadurch läßt sich der instabile Bereich gut umgrenzen. Der Unterhang ist nicht so stark strukturiert, die Reichweite der Rutschung sowie die laterale Ausdehnung ist anhand morphologischer Strukturen nicht eindeutig bestimmbar – hier lieferte die Auswertung der Quelldaten wertvolle Informationen (s.u.).

Im Bereich der tektonischen Grenze zwischen Quarzphyllit und Bündner Schiefer liegt eine deutliche Anhäufung von Quellaustritten vor, wodurch weite Bereiche des Rutschkörpers stark durchnäßt werden. Hierin ist die Hauptursache für die Massenbewegung zu sehen. In den niederschlagsreichen Jahren 1999 und 2000 war eine Zunahme der Aktivität der Massenbewegung zu beobachten, was die zentrale Rolle des Wassers bei der Kinematik der Rutschung unterstreicht.

Auswertung der Daten

Im Zuge der geologisch-geomorphologischen Kartierung erfolgte an sämtlichen angetroffenen Quellaustritten eine Messung der hydrophysikalischen Parameter Temperatur, elektrische Leitfähigkeit und Schüttung der Quelle. In den anschließend erstellten Verteilungskarten



Abb. 5: Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit der Quellwässer
Fig. 5: Distribution of the electrical conductivity of the spring water

konnten die Ergebnisse auf anschauliche Weise dargestellt werden. Bei der näheren Betrachtung der Daten ergaben sich folgende Auffälligkeiten:

- Es konnte ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Austrittshöhe und Wassertemperatur der Quelle festgestellt werden (durchschnittlicher Gradient von von ca. $0,7^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, Abb. 6), wobei die Quellaustritte innerhalb der Rutschmasse relativ zu ihrer Austrittshöhe zu niedrige Temperaturen aufweisen.
- Die elektrische Leitfähigkeit der Quellwässer im Quarzphyllit unterscheidet sich deutlich von jenen in den Bündner Schiefen, woraus sich eine Zonierung ergibt (Abb. 5 und 6).
- An der Grenze zwischen Innsbrucker Quarzphyllit und Bündner Schiefen tritt eine Anhäufung von Quellaustritten auf.

Hydrogeologische Interpretation

Die Quellwässer spiegeln die chemische Zusammensetzung ihres hydrologischen Einzugsgebietes wider. Quellen im kalkfreien Quarzphyllit weisen Leitfähigkeiten von $60\text{-}90\ \mu\text{S}/\text{cm}$, in kalkhaltigen Bündner Schiefen von $300\text{-}400\ \mu\text{S}/\text{cm}$ auf. In der Abb. 5 wurden die Quellen in zwei Gruppen eingeteilt: jene mit einer elektrischen Leitfähigkeit unter $200\ \mu\text{S}/\text{cm}$ (Quellen aus Quarzphyllit) und jene mit über $300\ \mu\text{S}/\text{cm}$ (kalkhaltige Bündner Schiefer). Es zeigt sich, daß durch die Massenbewegung auch der Chemismus der Quellen „versetzt“ worden ist (Abb. 5 und 6). Die daraus resultierende Verteilung der Leitfähigkeiten läßt daher einen Rückschluß auf die Ausdehnung bzw. Mächtigkeit des Kriechkörpers zu.

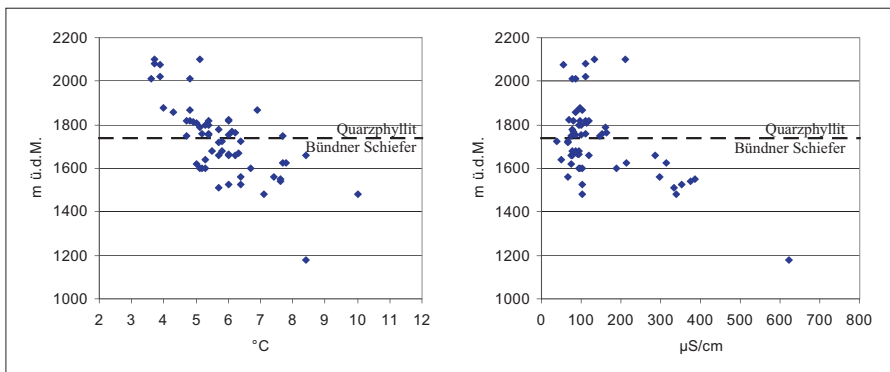


Abb. 6: Diagramme der Wassertemperatur/el. Leitfähigkeit relativ zur Austrittshöhe der Quelle
Fig. 6: Diagrams of water temperature/el. conductivity in relation to the discharge altitude of the spring

Der hydrogeologische Grund für die Anhäufung von Quellaustritten an der Grenze zwischen Innsbrucker Quarzphyllit und Bündner Schiefen konnte nicht eindeutig interpretiert werden. Die naheliegendste Erklärung ist die Existenz eines Wasserstauers/Aquitards im Bereich der tektonischen Grenze, was durch eine undurchlässige Zone am tektonischen Kontakt oder eine geringere Durchlässigkeit des Schiefers relativ zum Quarzphyllit erreicht werden könnte (Abb. 4). Die relativ zur Austrittshöhe „kalten“ Quellwässer innerhalb der Rutschmasse deuten auf eine Verbindung mit hochgelegenen Einzugsgebieten hin, was ein weitverzweigtes unterirdisches Kluftsystem suggeriert. Eine zentrale Rolle dürfen in diesem Zusammenhang die markanten N-S-Klüfte spielen. Diese These wurde bei einer auf ca. 1500 müA austretenden Quelle auch durch die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte bestätigt, die eine Einzugsgebietshöhe in der Gipfelregion des Miskopfes ergab.

Hydrogeologisches Modell zur Klärung der auslösenden Mechanismen

Das N-S-streichende, tiefgreifende Kluftsystem innerhalb des Quarzphyllit stellt die Hauptwasserwegigkeit dar. Entlang dieses Kluftsystems findet der unterirdische Transport des Wassers mit einer Strömungsrichtung von Norden nach Süden statt. Durch das tiefgreifende und weitverzweigte Kluftnetz sind die Transportdistanzen sehr groß, und damit wird das hydrologische Einzugsgebiet größer als das orografische. Durch die stauende Wirkung der tektonischen Grenze zwischen Innsbrucker Quarzphyllit und Bündner Schiefen kommt es zum Anstieg des Bergwasserspiegels bzw. -druckes und zum verstärkten Wasseraustritt an der Talflanke entlang dieser Grenze. Die daraus resultierende Durchnässung des Hanges und Herabsetzung der Scherfestigkeiten sind als Hauptursachen für die Auslösung der Massenbewegung zu sehen.

Niederschlagsreiche Perioden bewirken einen Anstieg des Bergwasserspiegels und damit auch der Schüttung und Anzahl der Wasseraustritte, was eine Reaktivierung der Rutschung zur Folge hat. Dies war auch der auslösende Faktor für die plötzliche auftretenden starken Bewegungen in südwestlichsten Teil der Massenbewegung in den niederschlagsreichen Jahren 1999 und 2000.

PROJEKTGEBIET B: MASSENBEWEGUNG LUDOIALM

Geografischer und geologischer Überblick

Die Massenbewegung „Ludoialm“ liegt auf der orographisch rechten Hangseite des Inntales nördlich von Münster auf einer Meereshöhe zwischen 1.400 bis 1.500 müA (Abb. 7).

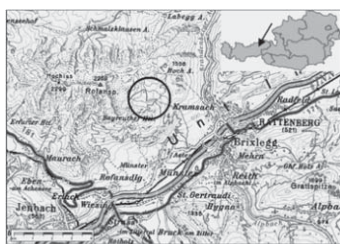


Abb. 7: Lage der Massenbewegung Ludoialm (Auszug aus der ÖK 1:50000 des BEV)

Fig. 7: Location of the Ludoialm landslide

Das Gebiet liegt im Einzugsgebiet des Ludoibaches, einem Seitenbach des Harvabach, der in den Inn mündet. Die ca. 15 ha große Massenbewegung liegt in einer Verebnung, die mit ca. 5° in Richtung Inntal einfällt. Bergseitig wird die Verebnung von Erhebungen des Rofanberges umrahmt, welche eine Meereshöhe bis zu 2.259 müA (Rofanspitze) erreichen. Talseitig wird die Verebnung durch die zunächst mäßig steil, dann sehr steil abfallende glaziale Geländestufe vom Inntal getrennt. Aus geomorphologischer Sicht liegt die Verebnung in einem glazial erodierten Hochtal, das mit einer bis zu 100 m mächtigen Grundmoräne verfüllt worden ist.

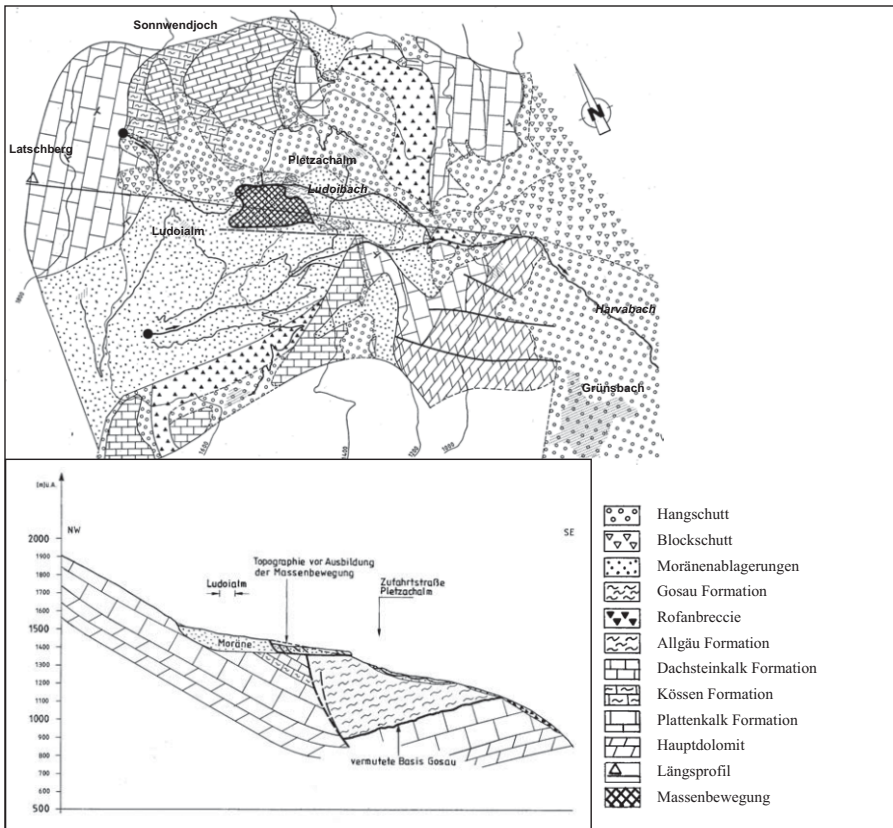


Abb. 8: Geologische Karte und Profil Projektgebiet B „Massenbewegung Ludoialm“
Fig. 8: Geological map and cross section of the project area B “Ludoialm Landslide”

Aus der geologischen Übersichtskarte und dem geologischen Längsprofil (Abb. 8) wird deutlich, daß mesozoische Sedimentgesteine der Nördlichen Kalkalpen die Festgesteinsgeologie bestimmen. Den Hauptanteil der bergseitig der Massenbewegung anstehenden Festgesteine nehmen die Plattenkalke und die Dachsteinkalk Formation ein. Generell handelt es sich um gut bis massig gebankte Kalke. Die Plattenkalke werden von den Kössener Schichten überlagert, denen die Dachsteinkalk Formation folgt. Diese Formationsabfolge unterlagert bergseitig den Bereich der Massenbewegung. Getrennt von Abschiebungsstörungen grenzen talseitig Mergel und Mergelkalke der Gosau Formation an die Abfolge (siehe Profil in Abb. 8).

Die Grundmoräne, bestehend aus feinkornreichen, matrixgestützten und chaotisch gelagerten Kiesen mit Blöcken überlagert diskordant das Festgestein (siehe Profil in Abb. 8).

Aus hydrogeologischer Sicht handelt es sich beim Plattenkalk und der Dachsteinkalk Formation um verkarstete Kalke, die als Aquifere wirken, während die Kössen Formation und die Gosau Formation als potentielle Stauer oder zumindest Aquitard dienen. Die hydraulische Durchlässigkeit der Grundmoräne wird generell als gering eingeschätzt, im Bereich von Zerspalten innerhalb der Massenbewegung liegt eine hohe hydraulische Durchlässigkeit vor.

Aktivierung der Massenbewegung

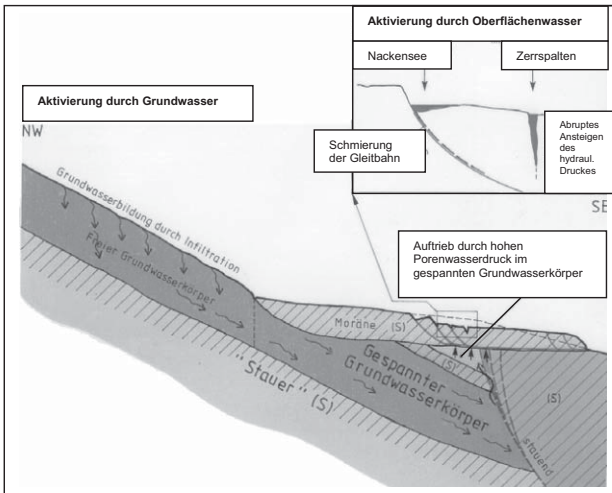


Abb. 10: Hydrogeologisches Profil zur Klärung der Auslösemechanismen für Massenbewegung Ludoialm
Fig. 10: Hydrogeological Section of the Ludoialm landslide and the triggering mechanisms

Aus Aufzeichnungen der Bergwacht geht hervor, daß eine Aktivierung und Reaktivierung der Massenbewegung an ersten warmen Tagen in Winter- und Frühjahrsmonaten schneereicher Winter erfolgte. Die erste Aktivierung erfolgte im April 1967.

Der Winter 1966 / 1967 war sehr schneereich, der Monat März war der niederschlagsreichste Monat im Jahr 1967. Eine Reaktivierung der Massenbewegung erfolgte im Februar 1999, der Winter 1998 / 1999 gilt wiederum als Ausnahme – Winter mit außergewöhnlich hohen Schneemengen.

Hydrogeologisches Modell zur Klärung der auslösenden Mechanismen

Ausgehend vom geologischen Modell und den hydrophysikalischen Daten über die Parameter der Wasser bzw. den Niederschlagsaufzeichnungen kann ein hydrogeologisches Modell entwickelt werden, das sich anhand des schematischen Profils in Abb. 10 verdeutlichen läßt. Grundsätzlich stellt sich bezüglich der auslösenden Mechanismen der Massenbewegung die Frage, weshalb ein dicht gelagertes, wandbildendes Lockergestein im flachem Gelände in Bewegung gerät.

Betrachtet man das hydrogeologische Modell, so fällt auf, daß

- die potentiellen Karstaquifere (Plattenkalk, Dachsteinkalk) sowohl an der Oberfläche aufgeschlossen sind, als auch in größeren Tiefen vorkommen, wo sie jedoch von hydraulisch stauenden Festgesteinen (Kössen Formation) bzw. dichten Sedimenten (Grundmoräne) überlagert und talseitig (Gosau Formation) begrenzt werden,
- für die Plattenkalk Formation weite Infiltrationsgebiete vorliegen,
- der Plattenkalk sowohl einen freien als auch gespannten Aquifer bildet,
- die Ablösefläche der Massenbewegung bergseitig der Störung liegt, an der die verkarsteten Formationen an die stauenden Formationen grenzen,
- die bergseitige, steilstehende Ablösefläche der Massenbewegung mit dem bergseitigen Ende der Dachsteinkalk Formation übereinstimmt, die hydraulisch über Störungszonen mit der Plattenkalk Formation verbunden ist.

Es ist bekannt, daß die Infiltration und damit Grundwasserneubildung im Spätwinter bzw. Frühjahr während der Schneeschmelze sehr hoch sind und damit die hydraulischen Drucke in

den Aquiferen stark ansteigen. Damit bauen sich hohe Wasserdrucke im gespannten Aquifer der Plattenkalk Formation auf. Entlang von Schwächezonen, wie z.B. Störungen, gelangt damit Wasser mit hohen Wasserdrucken in die isolierte Dachsteinkalk Formation bzw. wirkt auf die Basis der Grundmoräne, wo das gespannte Grundwasser mit hohem Wasserdruck zur Reduzierung der effektiven Spannung führt. Dies bedingt die Mobilisation der Moränenablagerung. Das Aufsteigen dieser Grundwässer ist an den talwärts abnehmenden Werten der elektrischen Leitfähigkeit der Grundwasseraustritte zu beobachten.

Während diese Grundwässer an der Basis der Grundmoräne destabilisierend auf die Moräne wirken, kann Oberflächenwasser, das vom Ludoibach in die Grundmoräne infiltriert, lokal (Zerrspalten) hohe Wasserdrucke aufbauen, und damit zur Destabilisierung seichter Bereiche der Grundmoräne beitragen. Dies kann die Bildung der seichten Fließkörper und Setzungsschollen bewirken bzw. verstärken.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Projektbeispiele zeigen, daß anhand der Messung der hydrophysikalischen Parameter von Quellwässern wesentliche Aussagen zur Prozessanalyse von instabilen Hangflanken getroffen werden können. So können neben Aussagen über die räumliche Ausdehnung von Massenbewegungen auch erste hydrogeologische Modelle zur Prozessanalyse abgeleitet werden.

Eine detaillierte Aufnahme und Dokumentation sämtlicher Quellen und Oberflächenwässer eines Untersuchungsgebietes muß daher standardmäßig im Zuge der geologisch-geomorphologischen Kartierung der Massenbewegung durchgeführt werden. Abhängig von den Rahmenbedingungen können die Messungen im Sinne eines Monitoring fortgesetzt werden.

DANKSAGUNG

Die Autoren bedanken sich an dieser Stelle beim Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinverbauung (Gebietsbauleitung Mittleres Inntal) und bei der Gemeinde Münster für die freundliche Genehmigung der Verwendung von Daten, weiters bei Fini Patscheider für die grafische Gestaltung.

LITERATUR

Miller H., Ledoux H., Brinkmeier I., Beil F. (1984): "Der Nordwestrand des Tauernfensters – stratigraphische Zusammenhänge und tektonische Grenzen". *Z. dt. geol. Ges., Vol. 135; 627- 644*, Hannover.

Ratschbacher L., Frisch W., Linzer H. G. (1991): "Lateral Extrusion in the Eastern Alps, Part 2: Structural Analysis". *Tectonics, Vol. 10; No. 2; 257-271*, Washington.

Thiele O. (1980): "Das Tauernfenster". in: Oberhauser R.(Editor): "Der geologische Aufbau Österreichs". 300-314, Springer-Verlag, Wien, New York.

Thünker M. (1978): "Geologische Untersuchungen am Mieslskopf". *Unveröff. Diplomarb., Universität Erlangen-Nürnberg*.

Tóth J. (1963): "A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins". *J. Geophys. Res., Vol. 6; 4795-4812*.