

BEURTEILUNG GEOGENER GEFAHREN IN HINBLICK AUF EINE RISIKOMINDERUNG IN DER GDE. SIBRATSGFÄLL (ÖSTERREICH)

LANDSLIDE HAZARD ASSESSMENT GDE. SIBRATSGFÄLL (AUSTRIA)

Wolfgang Jaritz¹, Robert Supper², Margarete Wöhrer-Alge³

ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit werden die Untersuchungsergebnisse zu Großhangbewegungen im Gemeindegebiet von Sibratsgfäll (Österreich) vorgestellt. Mit Hilfe interdisziplinärer Untersuchungsmethoden (geologische, hydrogeologische und geotechnische Kartierung, Aufnahme von künstlichen und natürlichen Bodenaufschlüssen, geophysikalische Untersuchungen mittels Aeorogeophysik und Multielektrodengeoelektrik, bodenphysikalische Untersuchungen an ausgewählten Bodenproben, geodätisches Bewegungsmonitoring - tachymetrische Vermessung und GPS-Vermessung, Photogrammetrie, C-14 Datierung, kinematische und numerische Berechnungen) konnte die Ursache der Bodenbewegungen sowie deren Ausdehnung, Tiefe und Mechanik festgestellt werden.

Da der überwiegende Teil des Hauptsiedlungsgebietes auf Eisrandsedimenten liegt, welche von Bewegungen betroffen sind, sollte ein Bewertungsschlüssel erarbeitet werden, der eine Selektion dieser Fläche in „für die Bebauung ungeeignet“ bis „für die Bebauung mit Auflagen geeignet“ ermöglicht. Dazu wurden Erhebungen an der bestehenden Verbauung hinsichtlich Bauschäden durchgeführt und eine Beurteilung ob anthropogen oder geogen verursacht vorgenommen. Zudem wurde versucht, die Geländeänderungen – sowohl anthropogener als auch geogener Natur – mittels photogrammetrischer Verfahren zu quantifizieren. In Zusammenschau aller gewonnenen Daten wurden Gefährdungsflächen ausgewiesen und auf einer Karte im Maßstab 1:2000 dargestellt. Auf Basis des entworfenen geologischen Modells wurden Entwässerungsmaßnahmen vorgeschlagen, welche die Versickerung anfallender Oberflächenwässer sowie seicht liegender Hangwässer in den für Wasser sensiblen Untergrund verhindern sollen.

Keywords: Großhangbewegung, interdisziplinäre Untersuchungsmethoden, Gefahrenbeurteilung, Risikoarten

¹ ZT-Büro Moser/Jaritz, Bachwinkl 126 5, 5760 Saalfelden, (Tel.: +43-6582 74 494; email: w.jaritz@moser-jaritz.at)

² Geological Survey of Austria, Neulinggasse 38, 1030 Vienna, Austria (Tel.: +43-1 7125674 380; email: Robert.supper@geologie.ac.at)

³ Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinerverbauung, Sektion Vorarlberg, Rheinstraße 32/5, 6900 Bregenz, Austria (Tel.: +43-5574 74995 416; Fax: +43-5574 74995 6; email: margarete.woehrer@die-wildbach.at)

ABSTRACT

The present paper outlines the results of an interdisciplinary study concerning land slides in the municipality of Sibratsgfall/Austria. Interdisciplinary research methods (geological surveying and mapping methods, exploratory work like prospect wells, drilling holes and probes, geophysical surveying methods like aero-geophysics, borehole geophysics and multi-electrode geoelectrics, analysis of selected soil samples, geodetic monitoring - tachymetry and GPS - of movement rates, photogrammetry, radiocarbon dating, kinematic and numerical calculations) gave information about the cause of the mass movements as well as its spatial extent, its depth and its mechanism.

As the predominant part of the main settlement area is located on stillwater glacial sediments which are involved in the mass movements, an evaluation key should be compiled that allows a selection of areas ranging from “*being qualified for construction work*” to “*being suited for construction work only with special requirements*”. For this purpose enquiries concerning structural damages on existing buildings and the cause of the damages (anthropogenic or geogenic) were carried out. In addition an attempt was made to quantify terrain changes of anthropogenic as well as geogenic origin. For this purpose photogrammetric techniques were applied to compare the first aerial photographs made in 1950 with the recent aerial survey results. Using all the obtained data, hazardous areas were identified and plotted on a map in the scale of 1:2000.

On the basis of the constructed geological scheme, measures to prevent an infiltration of arising surface waters into the water-sensitive subsoil were proposed.

Keywords: Landslides, hazard mapping, mitigation strategy, geophysics, monitoring

EINLEITUNG

Die ausgedehnten Bodenunruhen im Hauptsiedlungsraum von Sibratsgfall in Vorarlberg (Österreich) und die Sensibilisierung der Bevölkerung nach der massiven Beschleunigung eines ca. 1,5 ha großen Rutschhanges am nahe gelegenen Rindberg im Jahr 1999 veranlassten den Forsttechnischen Dienst für Wildbach und Lawinenverbauung dazu, geologische Untersuchungen in Auftrag zu geben um folgende Fragen zu klären:

- Was sind die Ursachen der ausgedehnten Bodenunruhen im Hauptsiedlungsraum von Sibratsgfall?
- Welches Ausmaß haben die Bodenunruhen im Hauptsiedlungsraum und wie tief reichen die Bewegungshorizonte in den Untergrund?
- Welches Gefahrenpotential geht von den Bewegungen aus und kann der Verlauf der weiteren Entwicklung prognostiziert werden?
- Besteht im Hauptsiedlungsraum von Sibratsgfall ein vergleichbares Gefahrenpotential wie am Rindberg?

Da großräumige Areale im Untersuchungsgebiet im braunen Hinweisbereich „Rutschung“ des gültigen Gefahrenzonenplanes liegen, sollten im Zuge dessen Überarbeitung diese braunen Hinweisbereiche modifiziert werden. Mit einer vorzulegenden Karte der wildbachrelevanten und geogenen Gefahrenpotentiale im Untersuchungsgebiet sollte der Gemeinde sowie der Raumordnung ein Instrumentarium für die Überarbeitung des Flächenwidmungsplanes bzw. für die weitere Ortsentwicklung zur Verfügung gestellt werden. Diese Unterlagen sollen es der Gemeinde ermöglichen, die Bebauung in weniger stark gefährdete Bereiche zu lenken und damit das Risiko zukünftiger Schäden zu vermindern.

Zudem sollte beurteilt werden, welche technischen Maßnahmen eine Verbesserung der Ist-Situation bewirken, bzw. welche Maßnahmen ergriffen werden können, um eine Beschleunigung bzw. Weiterentwicklung der Bewegungen zu verhindern.

Grundlage der weiterführenden Analysen war eine geologische Detailkartierung im Maßstab 1:2.500 mit Schwerpunkt auf den quartären Lockersedimenten und auf Hangbewegungen. Zum Erreichen des Arbeitszieles wurden zudem zahlreiche interdisziplinäre Untersuchungsmethoden angewandt. Dazu zählen:

- Hydrogeologische Kartierung, geotechnische Kartierung
- Aufnahme von künstlichen und natürlichen Bodenaufschlüssen
- Geophysikalische Untersuchungen mittels Aerogeophysik und Multielektrodengeoelektrik
- Bodenphysikalische Untersuchungen an ausgewählten Bodenproben,
- Tachymetrische Vermessung
- GPS-Vermessung
- Photogrammetrie, Luftbildauswertung
- C-14 Datierung
- Kinematische und numerische Berechnungen

GEOLOGISCHER RAHMEN

Im Becken von Sibratsgfall werden die Festgesteine (Rhenodanubischer Flysch, Feuerstätter Decke) von mächtigen eiszeitlichen Ablagerungen überdeckt. Dabei bauen Eissee-Sedimente, d.h. Ablagerungen die im direkten Zusammenhang mit einem eiszeitlichen Seestadium stehen, den Großteil der Talfüllung auf.

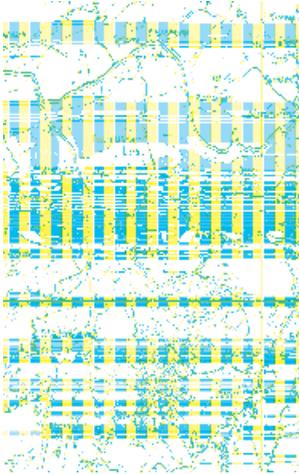


Abb1: Ausschnitt aus der Geologisch-tektonischen Übersichtskarte von Vorarlberg 1:200.000 (OBERHAUSER & RATAY 1998: türkis: Helvetikum; orange: Feuerstätter Decke; braun: Rhenodanubischer Flysch; grün: Liebensteiner Decke; ocker: Molasse; gelb: Quartär)

Fig1: Detail from the geological map of Vorarlberg 1:200.000 (OBERHAUSER & RATAY 1998: green: Helvetikum; orange: Feuerstätter nap; brown: Rhenodanubischer Flysch; olive-green: Liebensteiner nap; ochre: Molasse; yellow: Quartär)

Es wurden unsortierte, matrixreiche Ablagerungen mit einem Matrixanteil (Ton-Schluff-Feinsand Fraktion) > 60 Vol% mit gekritzten drop stones (Eisdriftgeschiebe) in nahezu allen Aufschlusspunkten aufgefunden. Am Beckenrand sind Eisrandsedimente vorhanden, die den Übergang von bewegtem zu unbewegtem Untergrund markieren. Alle eiszeitlichen Ablagerungen im Untersuchungsgebiet sind Spätglazialabfolge Bildungen die mit dem Abschmelzen der Gletscher aus den Haupttälern in Zusammenhang stehen. Die dabei vorgenommene Unterteilung in Spätglazialabfolgen von I bis V sind als relative Zeitabfolgen des örtlichen Sedimentationsgeschehens anzusehen und repräsentieren keine Rückzugstände wie sie für den Bodenseeraum postuliert wurden.

HANGBEWEGUNGEN

Das morphologische Inventar im Sibratsgfäller Becken ist das Resultat unterschiedlichster, zu verschiedenen Zeitpunkten abgelaufener, zum Teil sich überlagernder Hangabtragsprozesse (Erosion und Hangbewegungen). Hangbewegungen waren und sind dabei die maßgeblichen landschaftsgestaltenden Faktoren. Folgende Phasen, die schlussendlich zu dem heutigen Landschaftsbild führten, können auf Basis der vorhandenen Untersuchungsergebnisse rekonstruiert werden:

- EROSION - Nach dem späteiszeitlichen Eisseestadium und nach der Verlandung des Sees floss die Subersach aus dem Sibratsgfäller Becken Richtung Westen ab. Dabei begann sich der Fluss in den im Zuge des Seestadiums entstandenen Talboden einzuschneiden. Im Zuge des Einschneidens entstanden Erosionskanten, die den Höhenschichtlinien mit einem flachen Abfall nach Westen mehr oder weniger folgen. Zeugen dieser Entwicklungsphase sind die heute noch zum Teil erkennbaren ursprünglich langgestreckten Geländestufen des mittleren Beckenbereiches.
- GLEITUNGEN - Durch das Einschneiden der Subersach und ihrer Seitenbäche in den ehemaligen Talboden wurde die Böschung mehr und mehr übersteilt. Die sich aufbauenden Spannungszustände wurden schlussendlich mit Ausgleichsbewegungen abgebaut. Das Resultat sind Gleitungen, d.h. Hangbewegungsformen, an denen die aufgebaute Spannung entlang einer oder einiger weniger Bewegungsflächen abgebaut wird. Dabei traten überwiegend Rotationsgleitungen auf. Daraus resultiert ein getreptes bis gestuftes Hangprofil.
- FLIEßEN/KRIECHEN - Durch die Gleitungen wurde das Sedimentgefüge weiträumig aufgelockert. Entlang der Bewegungsflächen und dem zum Teil neu entstandenen Trennflächengefüge wird dem Wasser der Zutritt in tiefere Bodenhorizonte ermöglicht. Die von den Bewegungen betroffenen Sedimente (Eissee-Sedimente i.w.S.) sind wasserempfindlich und reagieren auf Wasserzutritt mit Konsistenzverringering. Das Ergebnis sind schneller ablaufende Hangbewegungen vom Typ Erd-/Schuttstrom. Dieser Hangbewegungstyp überprägt die bereits vorhandene, durch Treppen und Stufen dominierte Morphologie. Im Untersuchungsgebiet können verschiedene Entwicklungsstadien beobachtet werden:
 - Rasch ablaufende Systeme (Fließen; Bewegungsgeschwindigkeiten von rd. 0,5 – 1 m/a) mit deutlich ausgebildeten seitlichen Begrenzungen (Scherbahnen) aber meist unendlich entwickelten bzw. anthropogen überprägten Anbruchgebieten.
 - Hangabschnitte, in denen halbkreisförmig angelegte Geländekanten Hangareale mit getrepter Geländemorphologie überprägen und weiträumig umspannen, die als Vorphase schneller ablaufender Bewegungsformen interpretiert werden.

BETROFFENE FLÄCHE / TIEFGANG / BEWEGUNGSGESCHWINDIGKEIT

Die Eingrenzung der von den Hangbewegungen betroffenen Flächen erfolgte auf Basis folgender Faktoren:

- Geländebefund – Da der Eisrandstaukörper der Spätglazialabfolge III morphologisch keinerlei Anzeichen von Bewegungen oder Verstellungen aufweist, wurde die Grenze bewegt / unbewegt am talseitigen Rand dieser Eisrandterrasse festgelegt. Demnach sind von den Bewegungen ausschließlich Sedimente der so bezeichneten Spätglazialabfolge V, d.h. Eisse-Sedimente i.w.S. betroffen
- Schäden an Infrastruktur und Gebäuden – Die geographisch am weitesten bergwärts festgestellten Schäden befinden sich alle am Fuß der Eisrandterrasse der Spätglazialabfolge III.
- Vermessung – Das geodätische Überwachungsnetz 2001 wurde knapp außerhalb und knapp innerhalb des vermuteten bewegten Bereiches installiert. Nach Vorliegen der nun 5 Folgemessungen konnte das geologische Modell diesbezüglich bestätigt werden

Entsprechend den oben angeführten Argumenten umfasst das von der Hangbewegung betroffene Areal eine Fläche von rd. 1,8 km².

Aussagen über den Tiefgang der Bewegungen ermöglichen nur die Bohrkern- und die Inclinometermessungen. In den Inclinometerdaten wurde im Bereich Mähmoos ein eindeutiger Bewegungshorizont in rd. 10 – 12 m Tiefe unter jeweiliger GOK bei den Aufschlüssen SI-KB 3/01, 4/01 und 16/03 festgestellt. Im Bereich der SI-KB 17/03 liegt der oberste Bewegungshorizont in rd. 15 m unter GOK. Eine weitere Bewegungsfläche ist in rd. 31 m Tiefe entwickelt. In 55 m Tiefe deutet sich eine Bewegungsfläche an, die Bewegungsraten sind jedoch (noch) zu gering, um gesicherte Aussagen über eine mögliche Verschiebung in den angegebenen Tiefen zu treffen.

Innerhalb des Hangbewegungsareals wurden unterschiedlich schnell ablaufende Bewegungen festgestellt. Grundsätzlich ist eine Abnahme der Bewegungsgeschwindigkeit vom Hangfuß Richtung höherer Hangareale festzustellen. Oberhalb der Eisrandterrasse der Spätglazialabfolge III werden keine Bewegungen gemessen. Dies deckt sich mit dem geologischen Modell, dem nach von der Hangbewegung ausschließlich Eisse-Sedimente i.w.S. betroffen sind. Die größten Bewegungsraten wurden dort festgestellt, wo Erd-/Schuttströme den Massenabtrag dominieren. Davon ist vor allem das unterste Hangdrittel zwischen der Subersach und rd. 900 m ü.A. betroffen.

In den alten, seit 1995 beobachteten Vermessungspunkten verläuft der Trend der Bewegungsgeschwindigkeit annähernd linear. Im Katastrophenjahr 1999 bis 2000 ist ein leichter Anstieg in der Bewegungsgeschwindigkeit festzustellen. Im Messzeitraum August 2001 bis August 2002, sowie im Messzeitraum August 2003 bis August 2004 wurde eine geringfügige Abnahme der Bewegungsgeschwindigkeit beobachtet.

Die Bewegungsrichtung der Vermessungspunkte ist einheitlich Richtung Subersach bzw. Richtung Rubach, d.h. in Falllinie des Hanges orientiert. Wie die Vermessungsdaten belegen, ist derzeit kein Trend hin zu einer beschleunigenden Bewegung messbar, sieht man vom Vermessungspunkt VP 16 ab. Die Messergebnisse weisen auf Phasen schnellerer und langsamerer Bewegung während des Beobachtungszeitraumes hin.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Grundlagen

Die Beurteilung der im Untersuchungsgebiet vorhandenen Naturgefahren erfolgte nach folgenden Kriterien:

- Welche geogene Gefahren sind im Gemeindegebiet vorhanden?
- Welche Gefährdungen gehen von diesen geogenen Gefahrenquellen aus?
- Was sind die Ursachen der geogenen Gefahren bzw. die Ursache der Bodenunruhen im Gemeindegebiet von Sibratsgfall?
- Welches Ausmaß haben die Bodenunruhen und wie tief reichen die Bewegungshorizonte in den Untergrund?

Die Ergebnisse werden für die Gefahrenbeurteilung nachfolgend interpretiert, wobei folgende Ergebnisse der Interpretation wie folgt dargestellt werden:

- Gefahrenerkennung → Gefahrenhinweiskarte
- Gefahrenbeurteilung → Gefahrenkarte
- Maßnahmen → Vorschlag für die weitere Vorgehensweise

Gefahrenhinweiskarte Gemeinde Sibratsgfall

Die vorgelegte Karte „Gefahrenhinweiskarte Sibratsgfall“ stellt flächig die Gefährdungssituation in Hinblick auf Hangbewegungen im Gemeindegebiet im Maßstab 1: 5.000 dar. Neben der Klassifizierung der Bewegungsart (Gleitung, Kriechen, Fließen, etc.) wurde folgende Differenzierung vorgenommen:

- Sind die Bewegungen aktiv?
- Sind die Bewegungen derzeit inaktiv?

Ob eine Bewegung gesichert aktiv ist, wurde neben dem Geländebefund aufgrund der Vermessungsdaten, der Inklinometermessungen und möglicher vorhandener Gebäude- oder Infrastrukturschäden beurteilt. Dort, wo keine vertieften Informationen zum Geländebefund vorlagen, wurde die Hangbewegung als vermutlich aktiv ausgewiesen.

Als inaktive Hangbewegungen wurden jene Flächen ausgewiesen, die aufgrund der Geländemorphologie auf alte Bewegungen rückschließen lassen, wo aber aufgrund von vorhandenen Zusatzinformationen von derzeit ruhigen Bodenverhältnissen ausgegangen werden konnte.

Als potentielle Hangbewegungsflächen wurden jene Bereiche dargestellt, die aufgrund ihrer geologischen Grunddisposition als grundsätzlich zu Hangbewegungen neigend eingestuft wurden, wo aber morphologische Anzeichen oder weitere Zusatzinformationen über bereits vorangegangene Ereignisse fehlen.

Legende

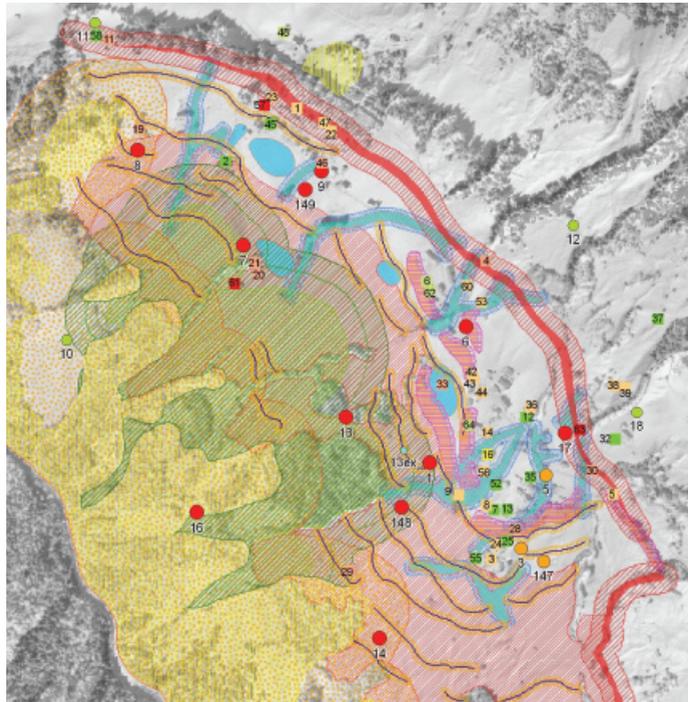


Abb2: Gefahrenhinweiskarte
Fig:2: Danger reference map

Gefahrenkarte Gemeinde Sibratsgfall

Basierend auf der Gefahrenhinweiskarte sowie den vorliegenden Untersuchungsergebnissen erfolgt die Gefährdungsabschätzung in Hinblick auf geogene Gefahren für den raumrelevanten Bereich. Das Ergebnis der Gefahrenbeurteilung wurde in Form einer Gefahrenkarte vorgelegt. Auf der Gefahrenkarte ist dargestellt, durch welche Massenbewegungen und in welchem Ausmaß (Ausdehnung, Intensität, Wahrscheinlichkeit) eine bestimmte Fläche bedroht ist. Dazu wurden alle zur Verfügung stehenden Informationen gewichtet und bewertet. Der Grad der Gefährdung, sowie die daraus abgeleiteten raumrelevanten Maßnahmen werden durch Gefahrenstufen festgelegt. Es wurden vier Gefahrenstufen unterschieden. Folgende Kriterien zur Gefahreinstufung wurden vorgenommen:

- Roter Gefahrenbereich: Im roten Gefahrenbereich besteht eine erhebliche Gefährdung. Gebäude und Infrastruktureinrichtungen werden durch die starken Geländeänderungen völlig zerstört bzw. substantiell so beschädigt, dass eine weitere Nutzung unmöglich ist. Infolge von Rissen in statisch tragenden Gebäudeteilen, durch absitzen und kippen ist ein partieller oder totaler Einsturz wahrscheinlich. Bei Einsturz besteht Lebensgefahr. Der rote Gefahrenbereich ist ein Verbotsbereich.

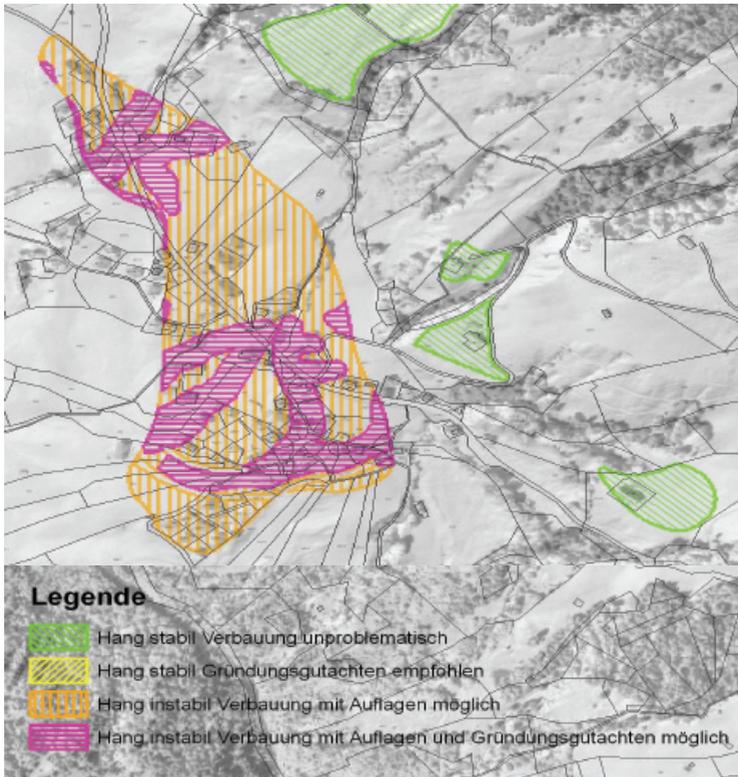


Abb3: Gefahrenkarte
Fig3: hazard map

- Eine Fläche wurde als roter Gefahrenbereich ausgewiesen wenn eines der folgenden Kriterien erfüllt war:
 - Die Bewegung bewegt sich mit mehr als 0,05 m /Jahr.
 - Episodisch schneller ablaufende Bewegungen (Übergang vom Kriechen zum Fließen) sind vorhanden oder mit hoher Wahrscheinlichkeit zu erwarten.
 - Eine Beschleunigung der Bewegung ist grundsätzlich möglich.
 - Im Gelände sind Anzeichen von sich ausbildenden schnelleren Bereichen erkennbar

- Innerhalb der Bewegung sind stark unterschiedliche Bewegungsgeschwindigkeiten und generell differentielle Bewegungsformen vorhanden oder wahrscheinlich
 - Die Fläche liegt im Nahbereich einer Bewegungsfuge und/oder im Nahbereich von sich unterschiedlich schnell bewegenden Teilschollen. Wenn die Bewegungsfuge nicht exakt lokalisierbar ist, wird eine Sicherheitsstreifen von mindestens 10 m im Bereich der vermuteten Bewegungsbahn ausgewiesen. Eine Vergrößerung des Sicherheitsstreifen wird dort vorgenommen, wo aufgrund der Untergrundverhältnisse mit einem raschen Ausgreifen der Bewegung gerechnet wird oder wo aufgrund der örtlichen Gegebenheiten die potentielle Bewegungsfläche nur sehr vage eingegrenzt werden kann
 - Das Gebiet befindet sich im potentiellen Ablagerungsgebiet von sich schnell bewegenden Hangbewegungsformen (Typ Erd-/Schuttstrom, Mure oder Gleitung)
- Oranger Gefahrenbereich - Im orangen Gefahrenbereich besteht eine mittlere Gefährdung. Der Hang befindet sich in einer langsamen kriechenden Bewegung. Durch die langsame Kriechbewegung werden Gebäude und Infrastruktureinrichtungen beschädigt. Es entstehen Risse, die jedoch an strukturellen Elementen, welche die Gebäudestabilität gewährleisten, keine Auswirkungen haben. Reparaturen sind im Allgemeinen mit „verhältnismäßigem“⁴ Aufwand durchführbar. Es besteht keine unmittelbare Einsturzgefahr. Bei Infrastrukturanlagen treten Beeinträchtigungen auf (Deformationen, Risse, etc.). Durch entsprechende konstruktive und andere Maßnahmen können Schäden an zu errichtenden Gebäuden und Infrastruktureinrichtungen minimiert oder verhindert werden. Der orange Gefahrenbereich ist ein Gebotsbereich.
 - Eine Fläche wurde als oranger Gefahrenbereich ausgewiesen, wenn eines der folgenden Kriterien erfüllt war:
 - Der Hang bewegt sich kontinuierlich mit weniger als 0,05 m / Jahr.
 - Episodisch schneller ablaufende Bewegungen (Übergang vom Kriechen zum Fließen) sind zu erwarten.
 - Eine Beschleunigung der Bewegung ist unwahrscheinlich.
 - Im Gelände sowie in den vorliegenden Untersuchungsergebnissen sind Anzeichen auf sich ausbildende schnellere Teilsysteme nicht erkennbar.
 - Innerhalb der Bewegung sind stark unterschiedliche Bewegungsgeschwindigkeiten und generell differentielle Bewegungsformen derzeit nicht vorhanden und auch für die nähere Zukunft nicht zu erwarten
 - Die Fläche liegt nicht im Nahbereich einer Bewegungsfuge und/oder im Nahbereich von sich unterschiedlich schnell bewegenden Teilschollen.
 - Das Gebiet befindet sich nicht im potentiellen Ablagerungsgebiet von sich schnell bewegenden Hangbewegungsformen (Typ Erd-/Schuttstrom, Mure oder Gleitung)
 - Gelber Gefahrenbereich - Im gelben Gefahrenbereich besteht eine geringe Gefährdung. Bauflächen im gelben Gefahrenbereich sind grundsätzlich stabil. Aufgrund herrschender oder vermuteter schlechter Untergrundverhältnisse wird die Durchführung von Bodenaufschlüssen und die Erstellung eines Gründungsgutachtens empfohlen um zukünftig Gebäudeschäden zu verhindern. Der gelbe Gefahrenbereich ist ein Hinweisbereich.

⁴ im Vergleich zu Baukosten

- Eine Fläche wurde als gelber Gefahrenbereich ausgewiesen, wenn eines der folgenden Kriterien erfüllt war:
 - Vorhandene oder vermutete ungünstige Untergrundbeschaffenheit (setzungsempfindliche Böden, Böden mit hohem organischem Anteil, etc.)
 - Hänge die im Zuge von baulichen Maßnahmen zu Instabilitäten neigen können. Auslöser sind jedoch Bodeneingriffe und nicht a priori vorhandene Bodenunruhen
- Graue Hinweisfläche - Für graue Hinweisflächen besteht eine angenommene, mäßige Gefährdung. Bauflächen im grauen Hinweisbereich sind aus derzeitiger Sicht vermutlich stabil. Hangbewegungen sind inaktiv oder sehr langsam ablaufend (Bewegungsgeschwindigkeit < 0,03 m / Jahr). Eine Reaktivierung bzw. Beschleunigung ist nicht zu erwarten. Graue Hinweisbereiche trennen meist Flächen mit Baulandeignung (orange, gelbe und weiße Flächen; s.u.) von Verbotsflächen (rote Flächen). Zur Eingrenzung der ausgewiesenen Sicherheitsstreifen zum Verbotsbereich sind jedoch Untergrundaufschlüsse erforderlich. Gleiches gilt für Bereiche die aufgrund fehlender oder mangelnder Untergrundinformation einer vertiefenden Bodenansprache zur Festlegung allfälliger Gründungsmaßnahmen bedürfen.
- Eine Fläche wurde als grauer Hinweisbereich ausgewiesen, wenn eines der folgenden Kriterien erfüllt war:
 - Untergrundaufschlüsse sind erforderlich, da das exakte Ausmaß von potentiellen Weiterentwicklungen angrenzender Bewegungsflächen derzeit nicht genau bestimmt werden kann
 - Untergrundaufschlüsse sind erforderlich, da die Fläche im Bereich einer möglichen Grabenverfüllung und/oder im Bereich einer vermuteten oder bekannten Anschüttung liegt
- Weiße Hinweisflächen - Auf weiß ausgewiesenen Flächen besteht keine oder eine vernachlässigbare Gefährdung. In den als weiß ausgewiesenen Flächen ist aus derzeitiger Sicht keine oder eine vernachlässigbare Gefahr hinsichtlich Baugrundrisiko vorhanden. Die Tiefenlage des tragfähigen Untergrundes wird in geringer Tiefe erwartet (< 5 m unter derzeitiger GOK). Zur Verifizierung dieser Annahme wird die Durchführung entsprechender Baugrunderkundungsmaßnahmen bei einem konkreten Projekt vorgeschlagen.

Auf den Karten wurde flächig für jeden Teilabschnitt eine Einteilung in Gefahrenbereich rot, oder Gefahrenbereich orange, oder Gefahrenbereich gelb vorgenommen. Flächen die keine geogene Gefahren aufweisen wurden weiß dargestellt. Grau gestreifte Flächen sind Bereiche die eine verbesserte Untergrunderkundung erfordern um eine exaktere Grenzziehung vornehmen zu können. Bei Flächen die von mehreren geogen bedingten Gefahren betroffen sind, wurde jene Gefahr dargestellt die ein höheres Schadenspotential beinhaltet. Nachfolgend werden exemplarisch die Ergebnisse der Gefahrenbeurteilung tabellarisch dargestellt und begründet.

Nr.	Gefahrenbereich		Begründung
Si 15	rot		Hangbewegung in der Lockergesteinsüberlagerung; Nischenanbruch mehr oder weniger entleert, Tiefenerstreckung zw. 5 – 10 m, vermutlich inaktivaktiv, Nachbrüche bergwärts und seitlich möglich
Si 16	rot		potentieller Nachbruchbereich von Hangbewegung in der Lockergesteinsüberlagerung (Nischenanbruch mehr oder weniger entleert, Tiefenerstreckung zw. 5 – 10m, vermutlich inaktivaktiv, Sicherheitsstreifen von 30 m
Si 18	weiß		Eisrandterrasse, seit rd. 18.000 BP unverändert, daher stabil, Versickerung oder freies Ableiten von Oberflächenwässer untersagt
Si 19	gelb	grau	mächtige, zum Teil Feinkorn dominierte Hangumlagerungssedimente über Grundmoräne, vermutlich stabil, Gründungsgutachten und Untergroundaufschlüsse erforderlich
Si 32	orange	grau	Untersuchungstreifen von möglichen Grabenverfüllungen bzw. Anschüttung; Hangwasserzüge entlang der überschütteten Areale möglich, setzungempfindliche Böden zu erwarten, Untergroundaufschlüsse und Gründungsgutachten aufgrund der nicht exakten Lage der Grabenverfüllung erforderlich, Differentielle Bewegungen zwischen verfüllten und gewachsenen Boden möglich, Versickerung oder freies Ableiten von Oberflächenwässer untersagt
Si 33	rot		Verbotzone bergwärts und seitlich einer Anschüttung, Nachbrüche vergleichbar Si 29 möglich, derzeit keine Anzeichen für aktive Bewegungen erkennbar

Abb4: Gefahrenbeurteilung

Fig4: evaluation of natural hazards

Einbezug der Gefahrenkarten in die Raumplanung

Die Darstellung der Gefährdung allein ändert jedoch an der Gefahrensituation nichts. Erst die Umsetzung in konkrete Maßnahmen beeinflusst die Häufigkeit und Höhe eines Schadens. Mit den oben dargestellten Ergebnissen wird nunmehr ein Instrument zur Verfügung gestellt, welches die Gemeinde und die Raumplanungsbehörde in die Lage versetzt, die Erkenntnisse wirksam umzusetzen, die Flächenwidmung entsprechend anzupassen und die Bebauung in nicht oder weniger stark gefährdete Bereiche zu lenken. Gleichzeitig bieten die Untersuchungsergebnisse die Möglichkeit, in weniger stark gefährdeten Bereichen durch Vorschreibung von Objektschutzmaßnahmen die Bebauung der Gefährdungssituation anzupassen und damit langfristig das Risiko von Schäden zu vermindern.

LITERATUR

- BUWAL (1997): Naturgefahren Empfehlungen - Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten, Bern
- BUNZA, G. - Systematik und Analyse alpiner Massenbewegungen. in: Geologisch - morphologische Grundlagen der Wildbachkunde - Schriftenreihe der ehem. Bayr. Landesstelle für Gewässerkunde, Heft 17, 1-84, München 1982.
- OBERHAUSER, R. & RATAJ, W.: Geologisch-tektonische Übersichtskarte von Vorarlberg 1:200.000.- Geologische Bundesanstalt, Wien 1998
- PIRKL, H., JARITZ, W. & MARKAT, G. (2002). Einsatz von Hubschrauber-geophysik bei der Naturraumanalyse – Beispielmessgebiete Sibratsgfall, Doren, Langen und Schesatobel.- Unveröff. Bericht.
- SIMET, Ch. (1985): Zur Geologie in der Umgebung von Sibratsgfall (Vorarlberg, Österreich). - Unv. Dipl. Arbeit. Uni. München.
- SUPPER, R. et al (2007).: Softwareentwicklung für ein optimiertes Geoelektrisches Monitoring der Hangrutschung Rindberg, Endbericht“- Unveröffentl. Bericht Geol. Bundesanstalt, Wien 2007
- THOM, P. (1986): Zur Geologie der Berge zwischen Balderschwang und Sibratsgfall. - Unv. Dipl. Arbeit. Uni. München.
- ZT-BÜRO MOSER/JARITZ (2007): Gde. Sibratsgfall – Georisiko Gde. Sibratsgfall – Geologisch-, geotechnische Beurteilung,- Unv. Bericht GZ 070433.
- WÖHRER-ALGE ET.AL. (2002): Geomonitoring Rindberg – Rutschungsüberwachung und Methodenentwicklung.- WL V Sektion Vorarlberg, Jahresbericht 2001, Bregenz 2002.