

Ist das Dorf Brienz-Brinzauls Bergsturz gefährdet?

Ruedi Krähenbühl¹, Christoph Nänni²

Stichworte: Rutschung, Felssturz, Bergsturzgefährdung, Brienz, Graubünden

Zusammenfassung

Das Dorf Brienz-Brinzauls in Graubünden, Schweiz, liegt einer Grossrutschung auf und inmitten eines Bergsturzgebietes. Zurzeit verschiebt es sich mit ~ 0,5 m/Jahr talwärts und von oberhalb donnern periodisch Felsstürze von bis zu 150'000 m³ Volumen in Richtung Dorf. Der letzte Bergsturz von mehr als 2,5 Mio. m³ ist jung und ging 1878 neben dem Dorf nieder, 4 Jahre nach einem verheerenden Dorfbrand.

Heute wird der aktive Sackungsrand oberhalb Brienz mit den modernsten Mitteln überwacht. Eine Gefährdung des Dorfes durch hochenergetische Sturzblöcke besteht aufgrund von Erfahrungen und von Modellierungen nicht. Die Frage ob das Dorf durch einen erneuten Bergsturz bedroht ist, wurde eingehend untersucht. Der Schlüssel zur Beantwortung dieser Frage lag in einer geomorphologischen Kartierung, die zusammen mit langjährigen Messdaten die Bildung eines geologisch-kinematischen Modells ermöglichte. Daraus konnten verschiedene Szenarien von geodynamischen Entwicklungen abgeleitet werden. Diese zeigen, dass ein weiteres Bergsturzereignis in den nächsten 50 bis 100 Jahren wenig wahrscheinlich ist.

Abstract

The village of Brienz/ Brinzauls in Graubünden, Switzerland, is situated at a big landslide. Today the village is dislocated with a velocity of ~ 0.5 m per year and from above rockslides up to 150'000 m³ fall periodically in direction of Brienz. The last landslide with a volume of > 2.5 Mio. m³ occurred recently in 1878. The border of the active rockfall zone is monitored since several years. The village is out of the range of rockfall hazards, what is proved by experience and by modelling. The main question was, if there is a risk, that the village could be destroyed by a massiv rockslope failure in this century. To answer this question the key of the geological investigation was a geomorphological field mapping. Together with long term geodesic measurements a reliable geological and kinematic model could be established and different scenarios of geodynamic evolution could be generated. Finally it was concluded that a massive rockslope hazard in the area of Brienz is very unlikely in the next 50 to 100 years.

1 Die Massenbewegung von Brienz

Das Dorf Brienz/Brinzauls befindet sich oberhalb von Tiefencastel auf einer erhöhten Geländeterrasse des Albulatals. Es liegt inmitten einer > 10 km² umfassenden Massenbewegung, die geographisch vom Albulatal im Süden und von der Lenzerheide im Westen begrenzt wird.

Im Jahr 1878 ereignete sich östlich des Dorfrandes von Brienz eine Felsackung von ~ 2.5 Mio. m³, die in eine von Felssturz begleitete Rutschung überging. Auf der topographischen Landeskarte ist das Gebiet seither auf romanisch als «Igl Rutsch» bezeichnet. Der Sturz-, Schutt- und Rutschkegel stiess bis auf die Höhe der untersten Häuser von Brienz vor (Fig. 5).

Bei den Übergängen in den Brienzer Rutsch treten massive Strassen Deformationen auf, welche jährlichen Unterhalt erfordern. An den Häusern sind nur entlang eines diskret verlaufenden Lineaments geringe Risschäden sowie eine leichte Verkipfung des Kirchturmes sichtbar. Oberhalb der Geländeterrasse von Brienz liegt ~ 500 m höher ein Felsabbruchrand, von dem das Dorf seit mehr als 100 Jahren von Fels- und Blocksturz bedroht wird (Fig. 1).

Sowohl die Felssturz-, wie auch die Rutschaktivitäten haben sich über die Zeit periodisch verstärkt und wieder verlangsamt, sie haben sich räumlich verlagert und insbesondere die Felssturzaktivitäten fanden stets wieder Phasen der relativen Ruhe. Seit den letzten 15 Jahren scheinen sich die Aktivitäten mit Felsabbrüchen bis zu 150'000 m³ und teilweise hohen Verschiebungsgeschwindig-

¹ BauGrundRisk GmbH, Sennensteinstr. 5, 7000 Chur

² Tiefbauamt Graubünden, Leiter Geologie, Abteilung Kunstbauten, Sägenstr. 78, 7000 Chur

keiten der Rutschung bis 0,7 m/Jahr erhöht zu haben. Entsprechend wurden in der letzten Zeit verschiedene, geologische Abklärungen vorgenommen, universitäre Studien [1] sowie diverse messtechnische Untersuchungen durchgeführt. Anhand von installierten Überwachungseinrichtungen ist heute ein Frühwarndienst für den Ereignisfall eines grossen Felssturzes eingerichtet.

2 Zentrale Frage der Bergsturzgefährdung

Die Gefahren- und Risikoabklärungen für die Zubringerstrasse und das Dorf Brienz liegen

für die Prozesse Block- bis grossen Felssturzes vor. Das Dorf liegt bisher ausserhalb von Felssturzkegeln (Fig. 4). Die Kantonsstrasse von Lenz nach Brienz ist von Blocksturz und Murgang betroffen, sie musste bei Ereignissen öfters gesperrt werden und Planungen für eine Strassenverlegung sind im Gange. Die im Zuge der zugenommenen Felssturzaktivitäten veranlassten, geologischen Abklärungen gaben Anlass zur Befürchtung, dass oberhalb des Dorfes Brienz ein Bergsturzpotenzial vorliegt, d.h. dass mit Absturzkubaturen über einer 1 Mio. m³ gerechnet werden muss. Bei derart grossen Volumina muss mit einer anderen Dynamik als bei Felssturz gerechnet werden. Felssturz bis ~ 200'000 m³

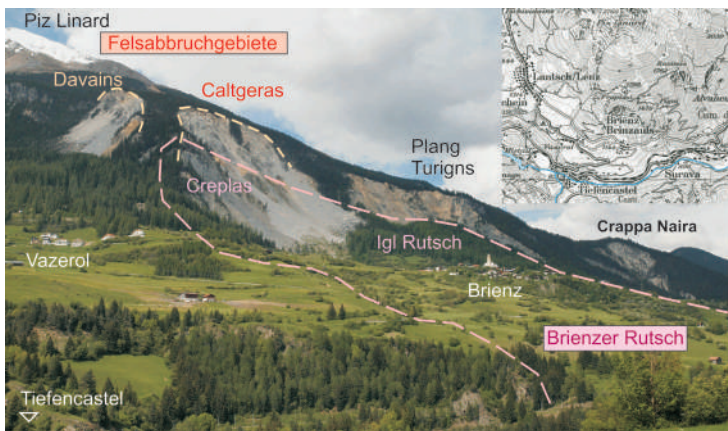


Fig. 1: Brienz liegt auf einer Grossrutschung, welche die oberhalb liegende, bewaldete Felsrippe destabilisiert, was in den Gebieten Caltgeras und Davains zu aktivem Felssturz führt.



Fig. 2: Das aktive Abbruchgebiet oberhalb von Brienz mit den geologischen Einheiten der Felswand.

hat bisher lediglich hochenergetischen Blocksturz von bis zu 60 m³ in die Nähe des Dorfes gebracht. Bei erheblich grösseren Felsmassen werden zunehmend Fließprozesse massgebend und die Sturzprozesse treten in den Hintergrund. «Fließende» Schuttkegel haben eine erheblich weitere Reichweite und das Dorf Brienz kann gegebenenfalls von einem solchen erfasst werden. Wo die Grenze von Felssturz Kubaturen zwischen 200'000 m³ und der per Definition «Bergsturzgrösse» von 1 Mio. m³ liegt, d.h. wo Fließprozesse massgebend werden, ist unbekannt.

Die zentrale Fragestellung war somit, besteht für das Dorf Brienz eine nachvollziehbare Bergsturzgefährdung? Um diese Frage innerhalb einer komplexen Massenbewegung beantworten zu können, waren folgende Fragen zu klären:

- Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Grossrutschung Brienz und dem Felssturzgebiet?

- Was für eine Kinematik ist in diesem System zu erwarten und wie wird sie sich im Laufe der Zeit entwickeln (Prozessverständnis)?
- Sind die geologisch-kinematischen Randbedingungen überhaupt gegeben, welche Bergsturz ähnliche Ereignisse in diesem Jahrhundert zulassen?
- Welche geologischen Randbedingungen haben diese Massenbewegung verursacht und wo stehen wir heute in ihrer zeitlichen Entwicklung (geologische Modellhypothese)?

3 Bisherige Abklärungen, bauliche Massnahmen und Ereignisse

Die wichtigsten Fakten in der chronologischen Übersicht bis 2015 [2]:

- Die jüngste Fellsackung «Igl Rutsch» von 1878 wurde von Albert Heim 1881 und

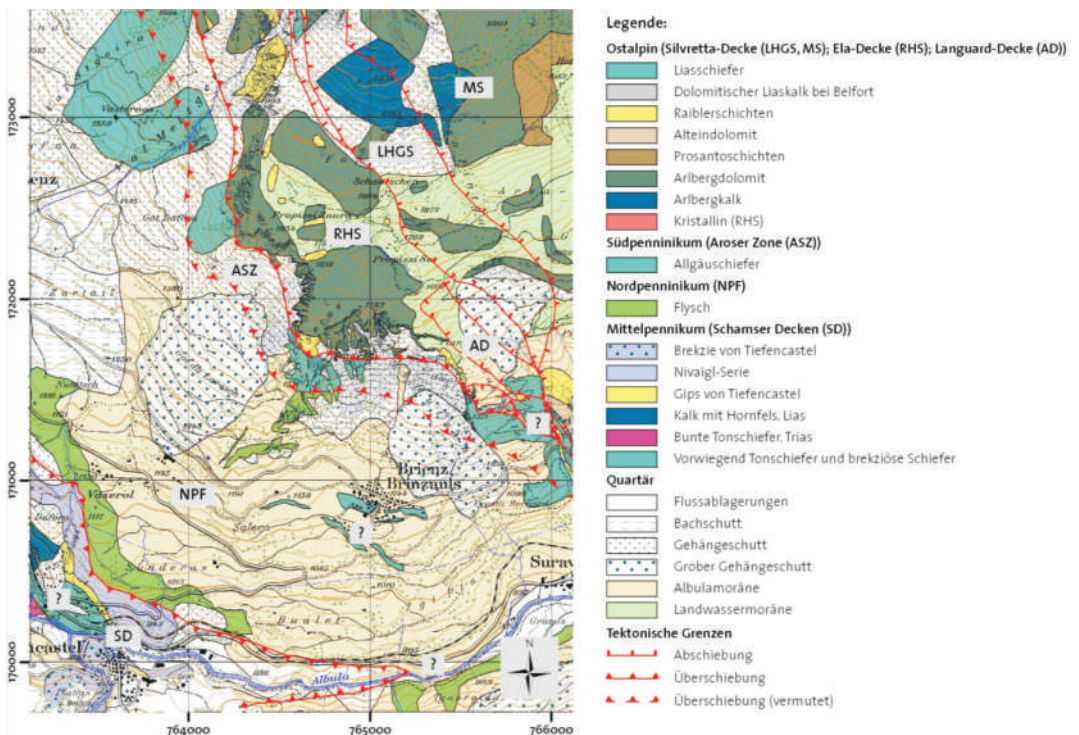


Fig. 3: Geologische Karte [1] modifiziert nach Brauchli & Glaser (1921) sowie Frey und Ott (1952) [8].

- 1902 von C. Berry mit Kartierungen untersucht.
- 1906 wurden im Rutschgebiet Brienz und hinter dem Felsabbruchrand auf den Mairensäss Propissi Oberflächendrainagen erstellt und diese 1977 erneuert.
- 1921 begann man mit der Vermessung einzelner Triangulationspunkte.
- Erste geologische Abklärungen zur Begründung der Massenbewegung erfolgten in den Jahren 1957 durch E. Strasser und 1971 durch E. Weber.
- 1960 - 1973 wurde die Vermessung im Felsabbruchgebiet intensiviert.
- 1975 zerstörte ein Felssturz den Schutzwald oberhalb von Brienz.
- 1982 erstellte man oberhalb des Schulhauses von Brienz einen Steinschlagschutzdamm.
- 1986 wurde eine Gefahrenkarte erstellt und diese 2008 überarbeitet.
- 1972 - 2004 erfolgten detaillierte Vermessungen im Brienzener Rutsch.
- 1999 erfolgten erste, geologische Ursachenabklärungen der Massenbewegung.
- 1999 wurde entlang der Kantonsstrasse ein Murgangauffangdamm erstellt und der Steinschlagschutzdamm oberhalb Brienz wurde erweitert.
- 2001/2002 Felssturz im Gebiet Caltgeras von 150'000 m³.



Fig. 4: Blick vom Felsabbruchrand im Arlbergdolomit hinunter in die Schuttkegel des Ablagerungsgebietes. Der bewaldete Teil links im Bild ist der «Bergsturz» Igl Rutsch. Die Felsackung und Rutschung wälzte sich 1902 - 1907 mit 1 m/Tag talwärts.



Fig. 5: Die ab 1878 aktive Felsackung Igl Rutsch, deren Schuttkegel sich am östlichen Dorfrand bis über die untersten Häuser erstreckte und heute noch mit 100 mm/Jahr aktiv ist [9].

- Ab 2009 erfolgten im ganzen Gebiet systematisch GPS Vermessungen.
- Ab 2011 begann man nach mehreren Sturzereignissen und erhöhten Verschiebungsgeschwindigkeiten mit einer kontinuierlichen Überwachung des Felsabbruchgebietes mittels Tachymeter Vermessungen und einer Life Kamera.
- Ab 2010 wurden intensive, geologische Abklärungen zu verschiedenen Fragestellungen der Massenbewegung und der Gefahrensituation vorgenommen.
- 2015 dehnte sich das Abbruchgebiet mit Felsstürzen von 100'000 m³ im Frühjahr und 30'000 m³ im Herbst weiter nach Südwesten in das Gebiet von Creplas aus.

4 Vorgehenskonzept

Es wurde folgendes Vorgehen gewählt:

- Geomorphologische Kartierung der Rutschung und des Felsgebietes oberhalb von Brienz. Ergänzung der bestehenden, geologischen Kartengrundlagen, konsequente Aufnahme der Felstrennflächen sowie der Wasseraufstösse und der Verlässungen.
- Interpretation dieser Daten mit dem Ziel, die Grossrutschung in einzelne Schollen zu unterteilen.
- Kinematische Interpretation, in welche Richtung sich die Schollen aufgrund der geologischen und physikalischen Randbedingungen verschieben müssen.
- Überprüfung der kinematischen Interpretation mit den Verschiebungsmessungen.
- Miteinbezug weiterer geologischer Daten, um eine geologische Modellhypothese erarbeiten zu können.

4.1 Geomorphologische Kartierung

Im Kerngebiet des Felssturzgebietes, d.h. im Gebiet der Felsabbruchfront Caltgeras sowie dem dahinter liegenden, von bis zu 15 m weit geöffneten Spalten durchsetzten Gelän-

de, wurde eine Masterarbeit der ETHZ ausgeführt [1]. Das Ziel war einerseits die für die Instabilitäten verantwortlichen geologisch, felsmechanischen Prozesse zu verstehen und andererseits wurde versucht, das Gebiet in Zonen mit unterschiedlichem Absturzpotenzial zu gliedern.

Die vorgenommene, geomorphologische Kartierung wurde ausserhalb des Studienggebietes der ETHZ begonnen und auf einer Fläche von ~ 10 km² ausgedehnt. Nachdem der Brienzener Rutsch kartiert war, begann man das Felsgebiet oberhalb bis hinauf zum Piz Linard auf knapp 2'800 m Höhe hinauf zu kartieren. Es wurden möglichst klar bestimmbar, einfache Kriterien erfasst [2]. Grundsätzlich wurde zwischen «aktiven» und «alten» Strukturen unterschieden. Aktive Strukturen waren solche, wo Verschiebungen der letzten 1 bis 2 Jahre eindeutig festgestellt werden konnten (frischer Versatz oder Riss in Strassen, Feld- und Waldwegen, aufgerissene Vegetationsdecke, aktive Erosion). Alle übrigen oder zweifelhaften, an der Oberfläche erkennbaren Lineamente wurden als «alte» Strukturen erfasst.

Hinsichtlich der Kinematik wurde zwischen Zug- und Stauchstrukturen differenziert. Die Zugstrukturen unterteilte man in solche mit einer überwiegend horizontalen Verschiebungskomponente (Spalten, Risse, Nackentälchen, lang erstreckte Mulden) und solche mit einem zusätzlich ausgeprägten, vertikalen Versatz (Abrisskanten, Geländestufen, Erosionskanten). Die Bewegungsrichtung der Versätze wurde erfasst (Fig. 6).

Für die Gliederung des Brienzener Rutsches in verschiedene Gleitschollen sind die kartierten Versatzrichtungen, die laterale Ausdehnung sowie die räumliche Dichte der «aktiven» Strukturen berücksichtigt worden. Die Abgrenzung der oberhalb der Rutschung auftretenden Fels Schollen erfolgte anhand der «alten» Strukturen, da es kaum «aktive» gab.

4.2 Kinematische Untersuchungen

Die kinematischen Abklärungen, in welche Richtung sich die einzelnen Schollen verschieben, wurden aufgrund der geologi-

schen, der topographischen sowie der Interaktionen zwischen den Schollen und der daraus resultierenden Freiheitsgrade, theoretisch ermittelt. Dies ausgehend von dem entlang des Albulabachs verlaufenden Auf-

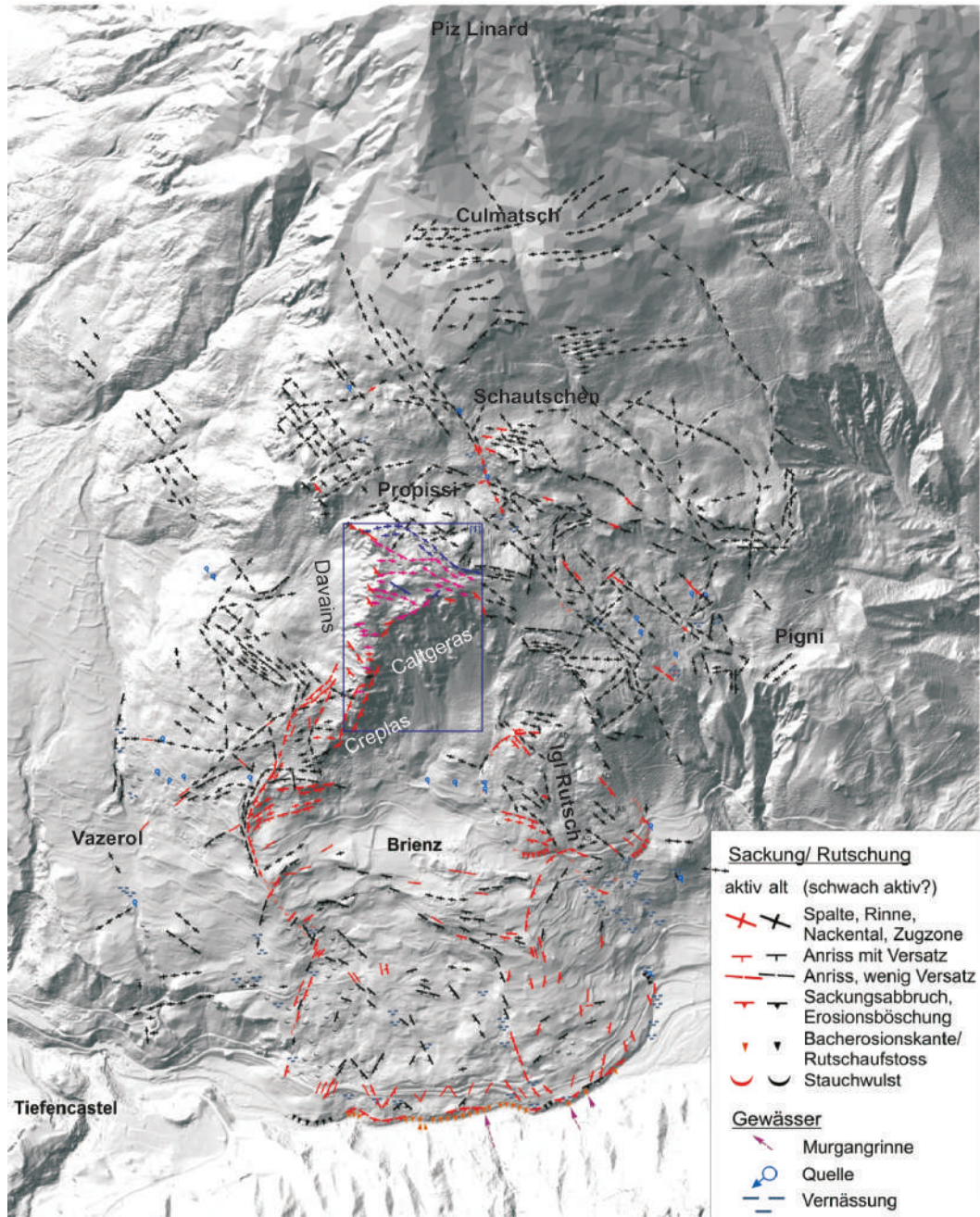


Fig. 6: Geomorphologische Kartierung mit «aktiven» und «alten» Strukturen der Massenbewegung, hinterlegt mit der Reliefschattierung aus dem DTM [3]. Die alten Strukturen erstrecken sich weit über das aktive Rutsch- und Felssturzgebiet hinaus (Rechteck Studienperimeter Masterarbeit A. Ludwig [1]).

stosses der Rutschung und weiter progressiv hangaufwärts, über das Rutschgebiet hinaus bis in die dahinter folgenden Felsformationen hinein (Fig. 7). Danach wurden die vorhandenen, geodätischen Daten ausgewertet und die Verschiebungsvektoren mit den theoretisch ermittelten Verschiebungsrichtungen der Schollen verglichen.

5 Ergebnisse der Untersuchungen

5.1 Geomorphologische Kartierung

Sowohl im Briener Rutsch, wie auch im Felsabbruchgebiet traten neben den «alten», auch die meisten, «aktiven», geomorphologischen Strukturen auf. Ausserhalb des Abbruch- und des Entfestigungsgebietes wurden nur noch vereinzelt «aktive» Strukturen angetroffen (Fig. 6). Die «alten» Strukturen verschwanden mit zunehmendem Kartierungsperimeter nicht und schliesslich befand man sich oberhalb von Lenz-Lantsch im Westen oder Crappa Naira im Osten und noch immer waren ausgeprägte, alte Strukturen von Massenbewegungen vorhanden.

Am nordwestlichen Abrissrand der Briener Rutschung traten Scharen von «alten» und von «aktiven» Strukturen nebeneinander auf, die in leicht unterschiedliche Richtungen verliefen, und wo kaum eine Aktivierung der «alten» durch neue Strukturen zu erkennen war. Hier musste sich offenbar der Bewegungssinn der Rutschung im Laufe der Zeit geändert haben, so dass sich die jüngeren Strukturen entsprechend dem neuen Spannungsfeld des Untergrundes anders ausrichteten. Die Langzeitvermessung bestätigte dies, indem sich die Bewegungsrichtungen der Rutsch Schollen in den letzten 150 Jahren von SSW nach SSE verändert haben (Fig. 11).

Der Briener Rutsch kann in 6 grosse Schollen unterteilt werden. Das Dorf Brienz befindet sich inmitten einer Grossscholle, die unter dem Abrissrand des Briener Rutsch

sches eine flache Geländeterrasse bildet. Das eigentliche Abrissgebiet lässt sich aufgrund der geomorphologisch «aktiven» Strukturen eindeutig unterhalb der Felsabbrüche inmitten des mit Blockschutt bedeckten, steilen Abhanges von Caltgeras bestimmen. Geologisch gesehen verläuft der Abrissrand entlang der Raibler Schichten (Fig. 2, 3). Die Wände der unteren Felsrippe von Creplas befinden sich noch innerhalb der Rutschung (Fig. 1).

Oberhalb des Briener Rutschs lässt sich das Felsgebiet in weitere Schollen unterteilen. Von den kartierten Zug- und Sackungselementen dominieren im Felsgebiet NW-SE, NE-SW verlaufende Strukturen (Fig. 7). Die Richtung dieser Strukturen stimmt weitgehend mit der Richtung der Hauptklüfte der verschiedenen Gesteine überein. Oft folgen ihnen im Gelände ein Schachbrettmuster von weit geöffneten, tiefen Spalten und dies noch weit ausserhalb des aktiven Felsabbruchgebietes. Am häufigsten erscheinen diese Spaltenmuster in den spröden Arlbergdolomiten und sie können sich im Gelände als ein gefährliches Labyrinth erweisen (Fig. 8).

In der ganzen Massenbewegung konnten vier ältere Bergstürze ausgeschieden werden. Alle sind von den Strukturen der Rutsch- und Felsschollen durchdrungen (Fig. 7).

5.2 Schollenkinematik

Der Vergleich der theoretisch ermittelten Verschiebungsrichtungen der einzelnen Rutsch- und Felsschollen ergab eine gute Übereinstimmung mit den Verschiebungsvektoren der Vermessungen (Fig. 7).

Die wenigen Fixpunkte ausserhalb des aktiven Rutschs zeigen, dass die ganze Massenbewegung bis hinauf ins oberste Anrissgebiet unterhalb des Piz Linard im Zuge eines Talzuschubes mit < 10 mm/Jahr talwärts kriecht [6]. Das Dorf Brienz verschiebt sich im langjährigen Mittel mit 100 mm/Jahr,

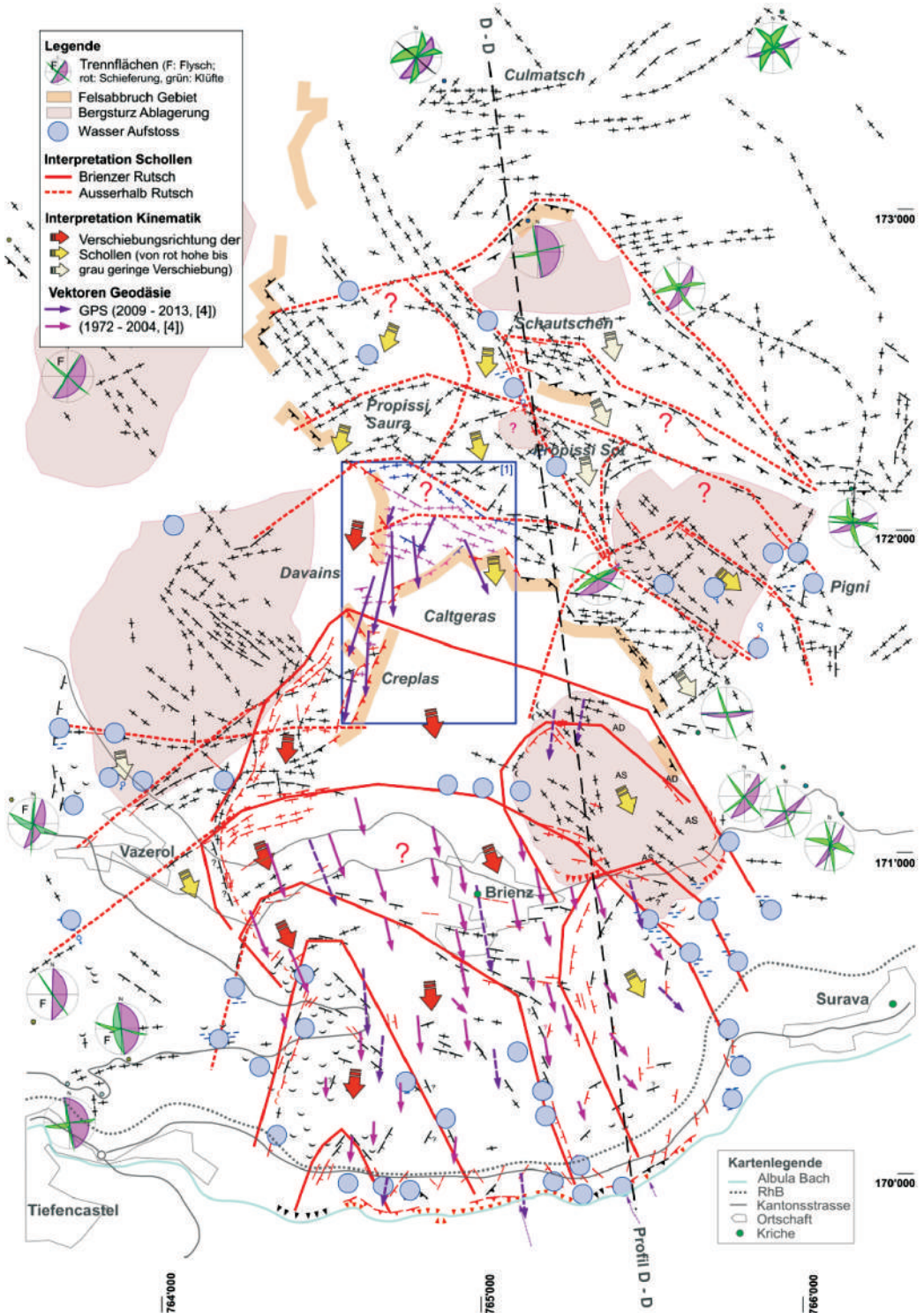


Fig. 7: Abgrenzung von aktiven Schollen des Briener Rutsch und deren Fortsetzung im Felsgebiet oberhalb. Wasser Aufstösse folgen meist den Schollengrenzen. Entsprechend der kinematischen Freiheitsgrade der einzelnen Schollen sowie der geologischen Disposition wurden ihre Bewegungsrichtungen theoretisch ermittelt (Signaturen Feldaufnahmen gem. Fig. 6).

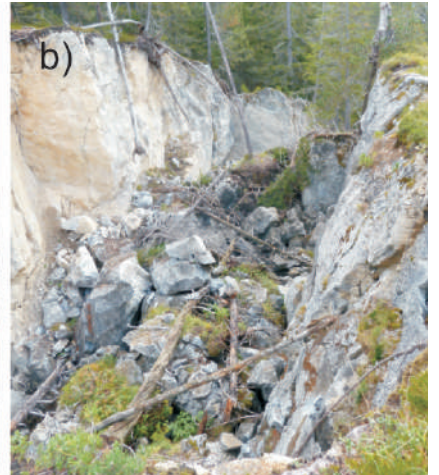


Fig. 8: a) Nackentälchen im Arlbergkalk von Culmatsch, ~ 2200 m ü.M.; b) Grossspalte und c) Toppling im Arlbergdolomit oberhalb Caltgeras, ~ 1700 m ü.M.; d) hochenergetischer Blocksturz während Felssturz Ereignis 2011 (Bild A. Huwiler); e) aktiver Abrissrand im NW des Briener Rutsches mit mehreren 10er Meter Versatz, ~ 1300 m ü.M.; f) Übergang derselben Struktur zu diskreter Scherbewegung.

der übrige Briener Rutsch mit 100 bis 200 mm/Jahr. Das exponierte Felsabbruchgebiet war in den letzten Jahren Verschiebungsraten bis zu ~ 2 m/Jahr ausgesetzt [5]. In Richtung der Albula verlangsamten sie sich.

Die westlich gelegenen Schollen des Briener Rutsches zeigen die höchsten Verschiebungsraten. Sie destabilisieren die zum westlichen Rutschrand abfallende, noch bewaldete Felsrippe, was entlang ihrer beiden Flanken die Felssturzaktivitäten bei Caltgeras und Davains in den letzten Jahren erhöhte (Fig. 1).

Im Aufstossbereich des Briener Rutsches erodiert der Albulabach seit Jahrtausenden. Wie die Vermessung zeigt, liegt die Albula auf dem Rutschaufstoss und gleitet mit [4], (Fig 9). Die heutige Erosionstätigkeit der Albula ist stark eingeschränkt und kann nicht als der primäre Motor der Massenbewegung angesehen werden. Aus geometrischen Gründen ist für die Rutschung ein Tiefgang von 100 bis 200 m anzunehmen (Fig. 10). Die untersten Rutschschollen verfügen beim Aufstoss zur Albula über die grössten Freiheitsgrade. Davon ausgehend werden die bergseitig nachfolgenden Schollen entlastet, was progressiv hangaufwärts einen Dominoeffekt bewirkt. D.h. die einzelnen Schollen sind ständig ändernden Zug- und Stauchbewegungen unterworfen (Fig. 9). So können noch in weit hinter dem Abbruchrand liegenden Felschollen, auf ~ 1800 m ü.M. bei Schautschen, in ihren Zugzonen «aktive» Strukturen festgestellt werden.

Die Verschiebungsgeschwindigkeiten der Massenbewegung scheinen aufgrund der ersten Daten von den jährlichen Niederschlagsmengen abhängig zu sein [2]. Die Datenlage ist jedoch noch bescheiden, um dies zu bestätigen. Die Wasseraufstösse treten überwiegend konzentriert entlang der Schollenränder auf (Fig. 7). Durch den erwähnten Dominoeffekt öffnen sich in den lokalen Zugzonen bevorzugte Wege für den Wasserfluss.

5.3 Modellbasis der Massenbewegung

Die Untersuchungen brachten eine komplex aufgebaute Massenbewegung zu Tage. Ihr Ursprung ist in der Talgeschichte, d.h. im Kreuzungsbereich des Albulatals, mit seiner Fortsetzung in der Schinschlucht und dem höher gelegenen Oberhalbstein, mit der Fortsetzung in der Lenzerheide, zu suchen. Die in verschiedenen Phasen ablaufende Tiefenerosion der Talgletscher und die nacheiszeitliche Erosion durch die Haupt- sowie der Seitenbäche, prägte in den letzten Jahrtausenden die Massenbewegung.

Die Übertiefungen des Gebirgsreliefs von mehr als 1500 m bewirkten graduelle sowie kurzfristig rasch ändernde Gebirgsentspannungen. Die in den Felsmassen in der zeitlichen Abfolge ändernden Spannungsfelder und die entstandenen Freiheitsgrade bestimmten zusammen mit dem geologischen Gebirgsaufbau die Art der Entfestigungsprozesse, wie Kriechen, Versacken, Gleiten, Kippen und Sturz. Das heisst alle diese Prozesse treten innerhalb der Massenbewegung nebeneinander auf.

Als Hypothese ist davon auszugehen, dass die massgebende Gebirgsentfestigung mit einem in Richtung SE zum Albulatal hin verlaufenden Talzusub begann. Dies als der Albula Gletscher ab dem Niveau von ~ 1400 m ü.M. die in Richtung E - SE einfallenden Flysch Gesteine frei zu legen begann. Damit konnten mehrere 100 m tiefe Gleit- und Sackungsprozesse, begleitet von Bergstürzen entstehen (Fig. 10). Da das Einfallen des Flysch schief zum Albulatal verläuft, war nur ein beschränktes Gleiten unter Zwängen möglich.

Mit der späteren Übertiefung der Schin Schlucht setzte wahrscheinlich ab dem Niveau 1100 m bis 800 m ü.M. eine SW gerichtete Gebirgsentspannung ein. Aufgrund der lithologischen und strukturellen Disposition konnten sich in Richtung Schin

keine Gleitflächen ausbilden. Die Entspannung bewirkte entlang der sich öffnenden Klüfte tiefgründige, in Richtung NW-SE ver-

laufende Spalten und Grabenbildungen [2]. Durch das nach SW und SE tiefgründige Auseinanderdriften des durch die Tiefenerosion

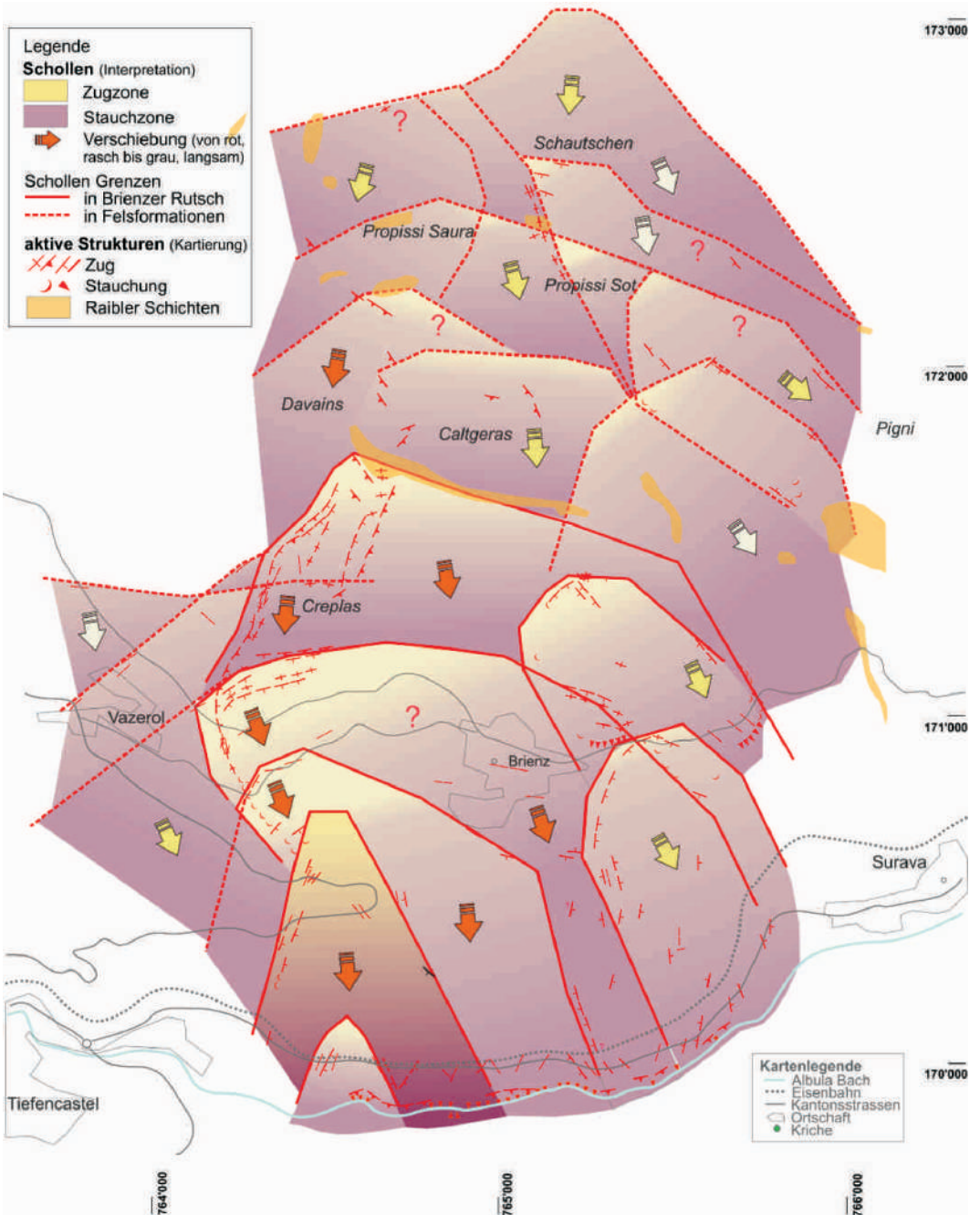


Fig. 9: Kinematische Interaktionen zwischen den talwärts gleitenden Schollen des Brienzler Rutsches mit stets sich verändernden Zug- und Stauchzonen und den «aktiven» Auswirkungen bis in die Felsschollen von Propissi und Schautschen auf ~ 1800 m ü.M.

im Gelände vorspringenden Gebirgsblockes des Piz Linard wurden Zwängungen gelöst, was die nach Süden gerichtete Felssackung von Brienz ermöglichte. Aufgrund der lithologischen Verhältnisse kann der Ursprungsort des Plateaus von Brienz ~ 350 m höher, auf der Höhe von Plang Turigns angenommen werden (Fig. 1). Sie löste sich wahrscheinlich vor mehreren tausend Jahren entlang der, infolge des Topplings inzwischen steil stehenden Raibler Schicht ab, genauso wie dies im östlichen Randgebiet die junge Felssackung Igl Rutsch tat (Fig. 9).

Seit ~ 1900 drehen die Verschiebungen im Briener Rutsch von SSW in Richtung SSE [6]. Möglicherweise wirkt sich das E bis SE Einfallen des die Gleitzonen beinhaltenden, felsmechanisch duktilen Flysch stärker aus. Eine Folge davon ist die in jüngster Zeit beobachtete, starke Versatzzunahme am nordwestlichen Abrissrand der Briener Rutschung (Fig. 8). Ob dies zu einer anhaltenden Zunahme der Verschiebungsgeschwindigkeiten führt, ist fraglich. Diese mehrphasige, in verschiedene Richtungen verlaufende Gebirgsentfestigung

generierte in der Massenbewegung komplex überlagerte Oberflächenstrukturen, deren Interpretationen im Feld schwierig bleiben.

6 Antworten zu den zentralen Fragen

Die direkte Beeinflussung der heutigen Sturzaktivitäten durch die Briener Rutschung hat sich bestätigt. Die Rutschung entlastet den Fuss der dahinter liegenden, überhöhten Felsmassen, begünstigt oberflächennah das Toppling und führt im tieferen Untergrund zu kleinräumig verlaufenden Bruch- und Gleitprozessen, welche sich entlang von Schollengrenzen konzentrieren.

Weil sich das Dorf Brienz inmitten einer grossen Rutschscholle befindet, deren Gleitzone mit grosser Wahrscheinlichkeit in einer Tiefe von 150 bis 200 m liegt, blieben die Häuser und die Infrastruktur auch bei hohen Verschiebungsraten von derzeit knapp 0,5 m/Jahr vor grossen Schäden bisher verschont.

Die im Laufe der Zeit entlang des verstürzten Sackungsrandes wandernden Felssturz-

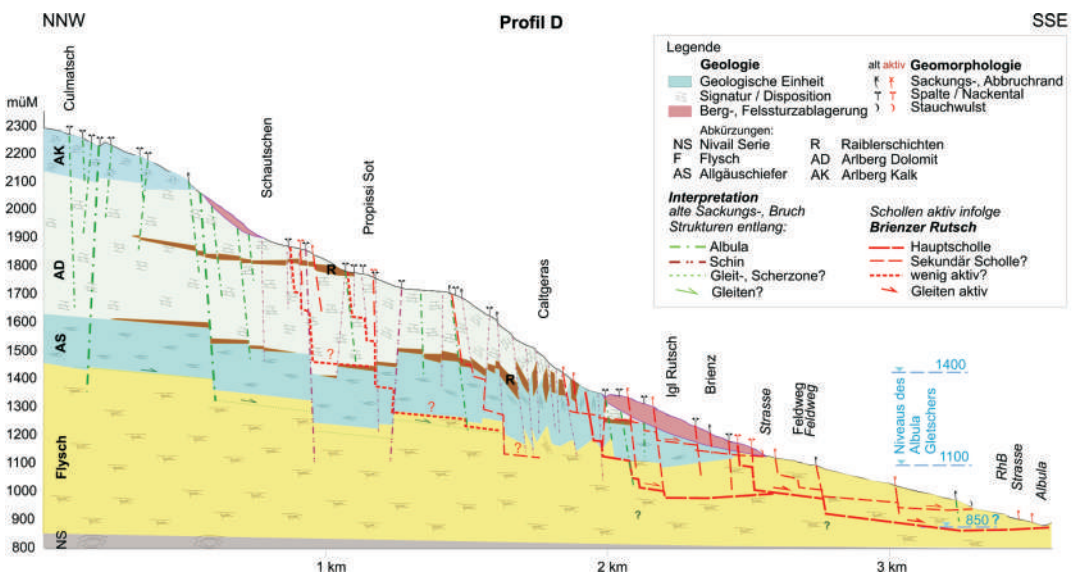


Fig. 10: NNW-SSE verlaufendes, geologisches Profil D mit den mehrere 100 m tief bis in den nach E - SE einfallenden Flysch hinunter reichenden Graben-, Sackungs- und Rutschstrukturen [2].

aktivitäten sind derzeit in den Allgäuschiefern und im Flysch von Creplas aktiv. Dies weil die darunter liegenden Rutsch Schollen die grössten Verschiebungen aufweisen und damit die bewaldete Felsrippe zunehmend entlasten.

Sturzaktivitäten, welche eine Dynamik eines Bergsturzes erreichen, erscheinen in den nächsten 50 bis 100 Jahren als unwahrscheinlich. Dies weil oberhalb von Brienz die geologischen Verhältnisse keine grossräumigen Gleitprozesse zulassen. Die von früheren Arbeiten postulierte, in talwärts einfallenden Raibler Schichten angenommene, ausgedehnte Gleitzone hat sich nicht bewahrheitet. Vielmehr stehen die Raibler Schichten infolge des Topplings in einem steilen Kontakt zu den Allgäuschiefer und dem Arlbergdolomit. Da die Gesteine der

Raibler Schichten über geringe Druck- und damit auch Zugfestigkeiten verfügen, bilden sie bevorzugt die Ablösehorizonte von Fels-sackungen, wie eben auch jener der Gross-sackung von Brienz (Fig. 9). Durch den grossen Höhenversatz der Sackung kommt es zu einem «portionenweisen» Verstürzen des verkippenden Sackungsrandes.

Ein weiterer, wesentlicher Grund für eine derzeit geringe Bergsturzgefährdung folgt daraus, dass sich die geodynamischen Randbedingungen langfristig stark verändern müssen, damit Bergsturzscenarien eintreten können (Fig. 11).

Auf dem heutigen Stand der Kenntnisse ist das Szenario «West» am wahrscheinlichsten. Ein infolge zunehmender Rutschaktivitäten der westlichen Schollen von Brienz anhaltendes Verstürzen der Felsrippe zwischen

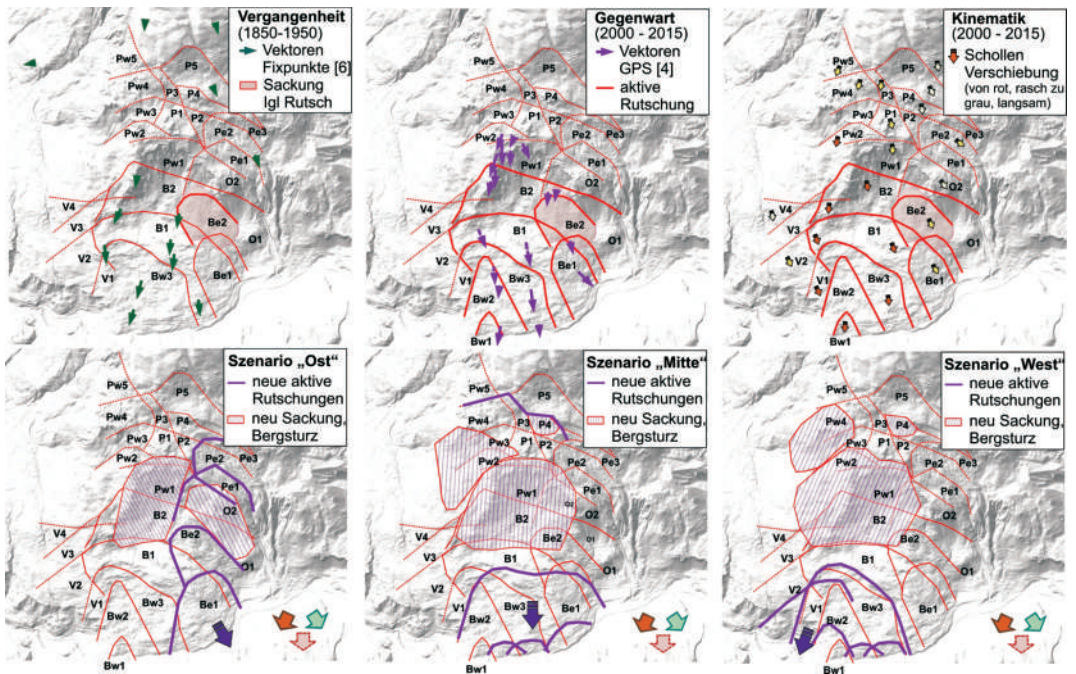


Fig. 11 Veränderung der Schollenkinematik von der Vergangenheit zu der Gegenwart bis in die Zukunft mit Abschätzung der zu erwartenden, geodynamischen Bergsturzscenarien. Das anhaltende Lösen von Zwängungen durch die SE (grüner Pfeil: Albulata) und die SW (braun: Schin) gerichtete Gebirgsentlastung begünstigt die nach Süden driftenden Schollen des Brienzers Rutschs (rosa). Ersteres hat sich heute als langsamer, kriechender Prozess erwiesen. Daher kann das von den verschiedenen Szenarien ausgehende Bergsturzrisiko für Brienz in den nächsten 50 bis 100 Jahren als gering erwartet werden.

Davains und Caltgeras, schwächt den bestehenden «Stützpfiler» der Felsmassen des Gebietes Propissi, Schautschen. Sollten die im Westen zwischen Tiefencastel und Vazerol bisher kaum aktiven, hohe Zwängungen verursachenden Randschollen V1 und V2 mobilisiert werden, kann ein Bergsturzzenario im ungünstigsten Fall sogar in relativ kurzer Zeit eintreten (1 – 2 Jahrzehnte?). Ein solches worst case Szenario ist langfristig, messtechnisch einfach zu überprüfen und unter Beobachtung zu halten.

Um dieses geologisch-kinematische Modell und damit verbunden auch die gestellte Prognose hinsichtlich der Bergsturzgefährdung von Brienz weiter zu festigen, sind aufwendige Untersuchungen, wie Geophysik und instrumentierte Sondierbohrungen unumgänglich.

7 Stellenwert von Feldarbeiten

Es hat sich einmal mehr gezeigt, dass für das Erarbeiten eines plausiblen, geologischen Modells die Feld-Beobachtungen und -Aufnahmen den zentralen Teil der Daten und Informationen liefern. Die Bestätigung deren Interpretationen durch messtechnische Ergebnisse vermag das geologische Modell als Basis für alle weiteren Tätigkeiten, wie kostspielige, detaillierte Baugrundabklärungen, Massnahmenplanungen und Projektierungsarbeiten zu festigen.

Verfügbare Hilfsmittel, wie Luftbilder und Reliefschattierungen von digitalen Geländemodellen (DGM) stellen in dieser frühen Phase eine wesentliche Hilfe dar. Sie vermögen die Feldarbeit aber keineswegs zu ersetzen. So müssen viele der im DGM erkennbaren Strukturen im Feld verifiziert werden. Feine Lineamente sind im DGM oft nicht erkennbar. Beispielsweise können mehrere Meter breite Spalten bei zunehmender Moränenüberdeckung innerhalb von wenigen Metern verschwinden und sind im

Gelände nur noch als über weite Strecken verfolgbare, geringfügige Einsenkungen erkennbar.

Ebenso sind die in demselben Lineament linear wechselnden, kinematischen Prozessphänomene, wie ein mit einem starken Versatz ausgebildeter Abrissrand der innert weniger 10er Meter zu einer auf gleichem Geländeniveau verlaufenden Scherung und in der Fortsetzung zu einem durch Stauchung gebildeten Aufstoss wechselt, in den Kartengrundlagen nicht oder kaum erkennbar (Fig. 8). Dies sind aber oft wesentliche Beobachtungen für das Erarbeiten und für das Verstehen eines geologischen Modells. Andererseits hilft das DGM die Strukturen von einem im Feld unzugänglichen Gelände zu ergänzen und schafft einen guten Überblick aus der Distanz. So wurde die NW - SE verlaufende Grabenbildung Propissi - Pigni erst im DGM erkannt.

Literatur

- [1] Ludwig A. 2011: Kinematische Analyse der Hanginstabilität von Brienz/ Brinzauls GR. - Masterarbeit ETH Zürich
- [2] BauGrundRisk GmbH 2014: Geologische Abklärungen im Rutsch- und Bergsturzgebiet Brienz. – Geologisches Gutachten
- [3] Amt für Wald und Naturgefahren Graubünden 2013: Digitales Geländemodell, DTMAV Gebiet Brienz
- [4] HMQ Ingenieure AG 2013: 49. Folgemessung GPS Messungen Fels-sturzgebiet Caltgeras, Gemeinde Brienz/ Brinzauls
- [5] HMQ und CSD Ingenieure AG 2014: Daten Tachymeter Messungen 2011 - 2014 Felssturzgebiet Creplas/ Caltgeras, Gemeinde Brienz/Brinzauls
- [6] Amt für Landwirtschaft und Geoinformatik Graubünden 2014: Vermessungsdaten Fixpunkte Lenz bis Surava 1921 - 2004 und Karte der Rutschpunkte
- [7] Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie Meteo Schweiz 2014: Niederschlagsdaten Station Tiefencastel Jahressummen 1961 – 2005 und Monatssummen 2007 – 2014
- [8] Schweizerische Geologische Kommission 1926: Geologische Karte von Mittelbünden 1:25'000,, Blatt E: Piz Michèl, Frei, Ott, Brauchli, Glaser, Cadisch, Cornelius, Staub, Wilhelm
- [9] ETH Zürich Bildarchiv: Fotos der Sackung/ Rutschung Igl Rutsch