

Donnerstag 15. Oktober 2015

17:40-18:10

## Das Dorf im Bergsturzgebiet; wann kommt der nächste?

*Ruedi Krähenbühl*

*BauGrundRisk GmbH, Sennensteinstrasse 5, CH-7000 Chur*

### **Zusammenfassung**

Das Dorf Brienz/ Brinzaults in Graubünden, Schweiz, liegt einer Rutschung auf und in Mitten eines Bergsturzgebietes. Derzeit verschiebt es sich mit  $\sim 0.4$  m/Jahr talwärts und von oberhalb donnern periodisch Felsstürze von bis zu  $150'000$  m<sup>3</sup> Volumen in Richtung Dorf. Der letzte Bergsturz von  $> 2.5$  Mio. m<sup>3</sup> ist jung und ging 1878 neben dem Dorf nieder, 4 Jahre später 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 Modellierungen nicht. Die Frage, ob das Dorf durch einen erneuten Bergsturz vor einer Zerstörung gefährdet ist, wurde eingehend untersucht. Der Schlüssel zur Beantwortung dieser Frage lag in einer großräumigen Kartierung, die zusammen mit langjährigen Messdaten die Bildung eines kinematischen Modells ermöglichte. Daraus konnten verschiedene Szenarien von geodynamischen Entwicklungen abgeleitet werden. Diese zeigen, dass ein weiteres Bergsturzereignis in den nächsten 50 - 100 Jahren wenig wahrscheinlich ist.

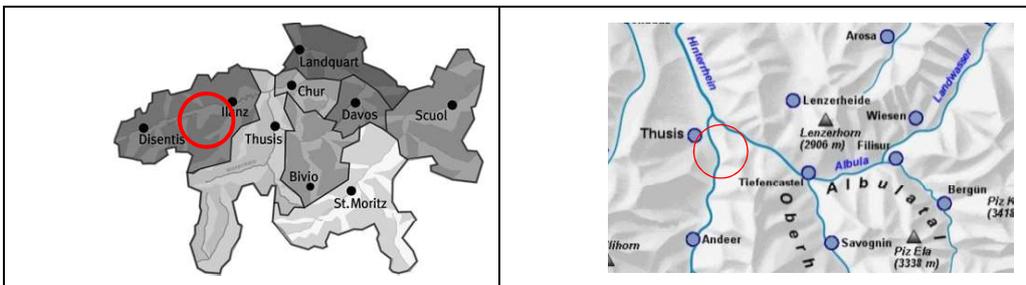
### **1. Ausgangslage**

Seit mehr als 130 Jahren beschäftigen Felssturz- und Rutschaktivitäten aus dem Gebiet ober- und unterhalb von Brienz die Bevölkerung, kommunale und kantonale Ämter sowie zugezogene Fachleute. Das Dorf Brienz wird periodisch von Fels- und Blocksturz bedroht, was im Laufe der Zeit verschiedenste Schutzmaßnahmen erforderte. Die zwischen Brienz und dem Albula Bach liegende Briener Rutschung verursacht massive Strassen Deformationen und führte zu Gebäudeschäden im Dorf.

Sowohl die Felssturz- wie auch die Rutschaktivitäten haben sich periodisch verstärkt, räumlich verlagert und sie fanden lokal stets wieder Phasen der relativen Ruhe. Seit den letzten 10 Jahren scheinen sich die Aktivitäten mit Felsabbrüchen bis zu  $150'000$  m<sup>3</sup> und teilweise hohen Verschiebungsgeschwindigkeiten bis zu  $0.4$  m/ Jahr erhöht zu haben. Es wurden verschiedene, geologische Abklärungen vorgenommen, universitäre Studien [1] sowie diverse messtechnische Untersuchungen durchgeführt. Anhand von installierten Überwachungseinrichtungen ist heute ein effizienter Frühwarndienst für den Ereignisfall eines großen Fels- oder eines Bergsturzes eingerichtet.



**Abb. 1:** Das Dorf Brienz; im Hintergrund der aktive Felsabbruchrand; aus den dunkeln Allgäuschiefen im linken Teil des Bilds sind am 19.04.2015 ca. 110'000 m<sup>3</sup> Fels ausgebrochen; das Dorf blieb unversehrt.



**Abb. 2:** Auf einer Terrasse im Kreuzungspunkt der Taleinschnitte von Albulatal/ Schin Schlucht (Tiefencastel – Thusis) und Oberhalbstein/ Lenzerheide liegt Brienz.



**Abb. 3:** Blick vom Felsabbruchrand in Richtung Brienz mit frischem Schuttkegel; der bewaldete Teil neben dem Dorf links im Bild ist "Igl Rutsch", ein Bergsturz von > 2.5 Mio. m<sup>3</sup>; 1878 begann er als Fels Sackung, der Sackungsrand verstürzte und die anhaltende Rutschung wälzte sich 1902 -1907 mit 1 m/Tag talwärts.



Bergsturz v. Brienz (Graubünden) Prof. Dr. Leo Meyer  
Zürich 1903.

**Abb. 4:** "Igl Rutsch": Ab 1878 aktiver Bergsturz mit Fels Sackung, und Rutschung die neben dem Dorf Brienz einen Schuttkegel hinterliess [x]; die Rutschung ist heute noch durchschnittlich mit 10 cm/Jahr aktiv [9].

Die Gefahren- und Risikoabklärungen für das Dorf Brienz liegen für die Prozesse Block- bis großen Felssturz von einigen 100'000 m<sup>3</sup> vor. Jene für "halbe" bis eigentliche Bergstürze von  $\geq 1$  Mio. m<sup>3</sup> konnten auf dem bisherigen geologischen Kenntnisstand noch nicht vorgenommen werden. Hierfür fehlte im  $\sim 10$  km<sup>2</sup> großen Bergsturzgebiet ein überzeugendes, geologisch-kinematisches Modell.

Insbesondere standen Fragen im Raum, betreffend des Zusammenhangs zwischen Felsinstabilität und Brienz Rutsch, der maximal zu erwartenden Größe plötzlich eintretender Fels- bzw. Bergsturzereignisse sowie ob die geologisch-kinematischen Randbedingungen überhaupt gegeben sind, welche derartige Großereignisse im nächsten Jahrhundert zulassen?

## 2. Geologischen Untersuchungen

### Geomorphologische Kartierung

Im Kerngebiet des Felssturzgebietes und in dem hinter der Abbruchfont von bis zu 15 m weit geöffneten Spalten durchsetzten Gebiet, wurde eine Masterarbeit der ETHZ mit dem Ziel ausgeführt [1], einerseits die für die Instabilitäten verantwortlichen geologisch-felsmechanischen Prozesse zu verstehen. Andererseits wurde versucht, das Gebiet in Zonen mit unterschiedlichem Absturzpotential zu gliedern.

Außerhalb dieses Studiengebietes erfolgte auf  $\sim 10$  km<sup>2</sup> Fläche eine geomorphologische Kartierung nach einfachen Kriterien [2]. Es wurde unterschieden zwischen "aktiven" Strukturen, wo Verschiebungen aus den letzten 1 - 2 Jahren eindeutig festgestellt werden konnten (deutlicher Versatz, Riss in Strassen, Feld-, Waldwegen, aufgerissene Vegetationsdecke, frische Erosion). Alle übrigen, an der Oberfläche erkennbaren Lineamente wurden als "alte Strukturen" erfasst (Abb. 6).

Es wurde zwischen überwiegend linearen Zugstrukturen (Spalten, Risse, Nackentälchen, lang erstreckte Mulden) und solchen, die zudem einen deutlichen, vertikalen Versatz zeigen, unterschieden (Abrisskanten, Geländestufen, Erosionskanten). Der Bewegungssinn zwischen den Versätzen wurde erfasst.

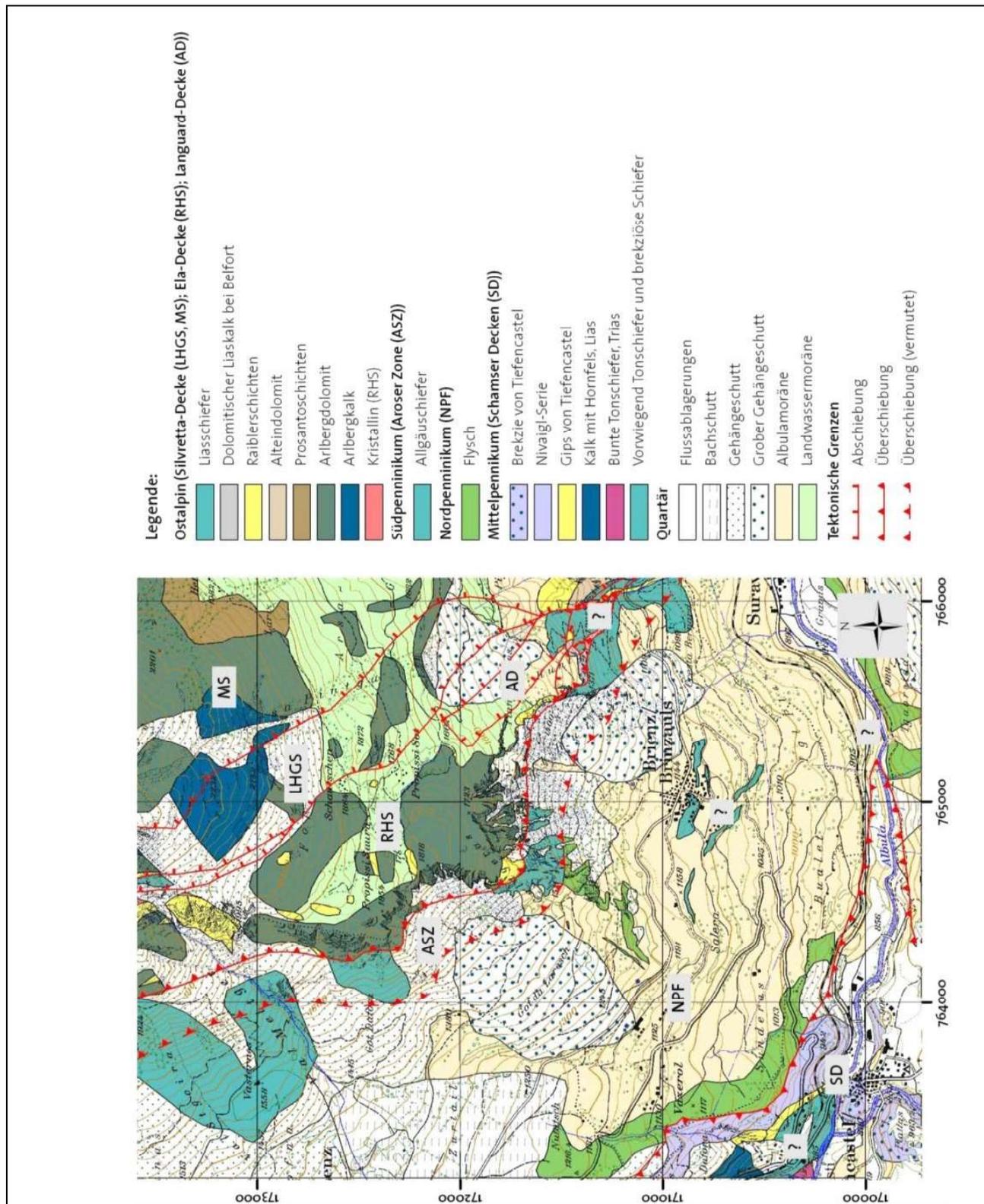


Abb. 5: Geologische Karte [1] modifiziert nach Brauchli & Glaser (1921) und Frey und Ott (1925) [8].

Für die Interpretation des Brienzer Rutsches in verschiedene Gleitschollen wurden die kartierten Versatzrichtungen, die laterale Ausdehnung, die räumliche Dicht, die topographische Lage und übrige geomorphologische Strukturen verwendet.

### **Kinematische Untersuchungen**

Die kinematischen Abklärungen, in welche Richtung die einzelnen Schollen sich verschieben, wurde aufgrund der geologischen, der topographischen, der erosiven Verhältnisse, der Interaktionen zwischen den Schollen und der daraus resultierenden Freiheitsgrade vorerst theoretisch ermittelt.

Danach wurden die geodätischen Daten ausgewertet. An wenigen Triangulationspunkten gab es seit 1920 Daten des Kantons Graubünden. Wo man instabiles Gelände kannte oder vermutete, wurden die Fixpunkte meist in Abständen von 15 - 20 Jahren gemessen.

Seit 2009 wird der Brienzer Rutsch vermessen. 2009 und 2012 wurden im aktiven Gebiet Laserscans geflogen. Und seit 2011 wird der Felsabbruch oberhalb Brienz mit einem automatischen Tachymeter ständig überwacht.

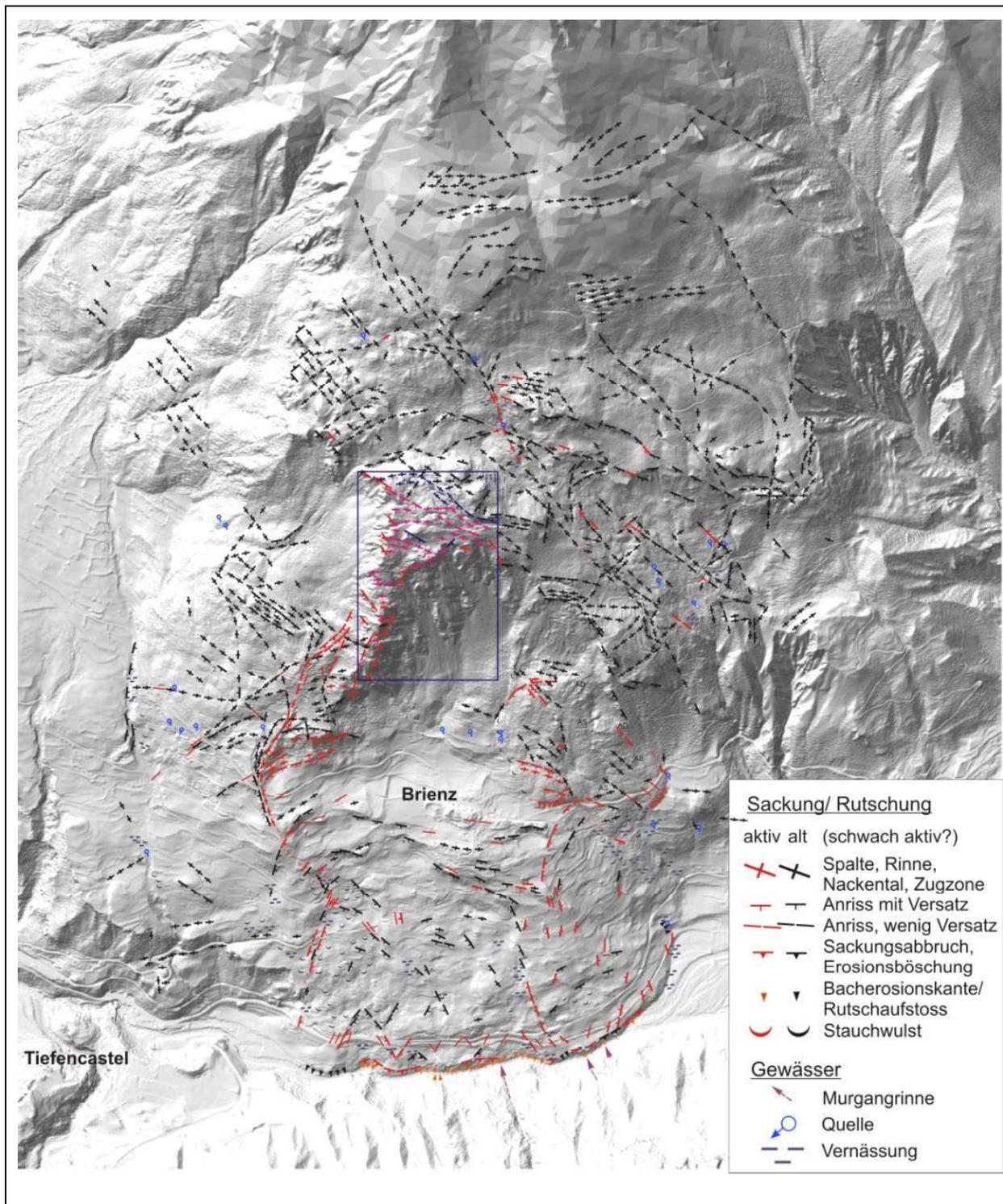
## **3. Ergebnisse der Untersuchungen**

### **Schollenkinematik**

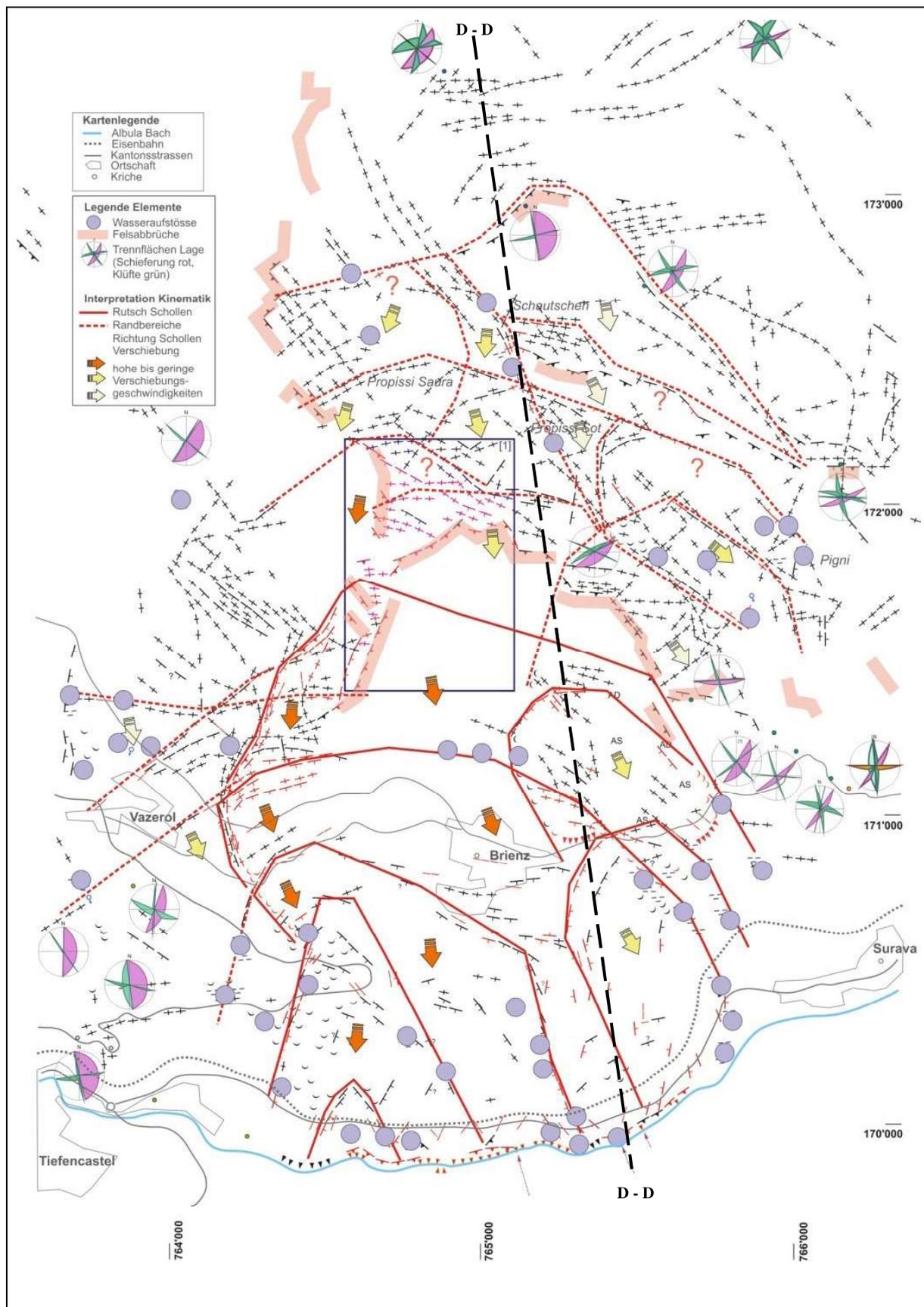
Der Vergleich der Verschiebungsvektoren der verschiedenen Vermessungen ergeben eine gute Übereinstimmung mit den theoretischen Verschiebungsrichtungen, bestimmt anhand der einzelnen Rutsch Schollen. Im Laufe der letzten 90 Jahre haben sich die Verschiebungsrichtungen leicht verändert (Abb. 13).

Die wenigen Fixpunkte außerhalb des aktiven Rutsches zeigen, dass die ganze Massenbewegung bis hinauf ins oberste Anriss Gebiet mit ~ 10 mm/Jahr schwach aktiv ist. Im langjährigen Mittel verschiebt sich das Dorf Brienz mit 10 cm/Jahr, der Brienzer Rutsch mit 10 - 20 cm/Jahr und das äußerste Felsabbruchgebiet mit ~ 2 m/Jahr.

Eine über Jahre anhaltende Beschleunigung der Verschiebungen konnte bisher nicht festgestellt werden. Die Verschiebungsgeschwindigkeiten der Massenbewegung scheinen voraussichtlich von den jährlichen Niederschlagsmengen abhängig zu sein. Die Datenlage ist jedoch noch bescheiden (Abb. 10).



**Abb. 6:** Ca. 10 km<sup>3</sup> große, geomorphologische Kartierung mit Ergänzungen im DTM [3]; rot sind alle eindeutig aktiven Strukturen, schwarz die alten oder schwach aktiven gekennzeichnet. Letztere erstrecken sich weit über das heute aktive Rutsch- und Sturzgebiet hinaus (Rechteck: Studienperimeter A. Ludwig [1]).



**Abb. 7:** Abgrenzung von aktiven Schollen im Brienzer Rutsch und in angrenzenden Randbereichen; viele Wasser Aufstösse folgen den Schollengrenzen; die Verschiebungsrichtung der Schollen wurde theoretisch anhand der kinematischen Freiheitsgrade zwischen den Schollen und der Topographie abgeleitet [2].



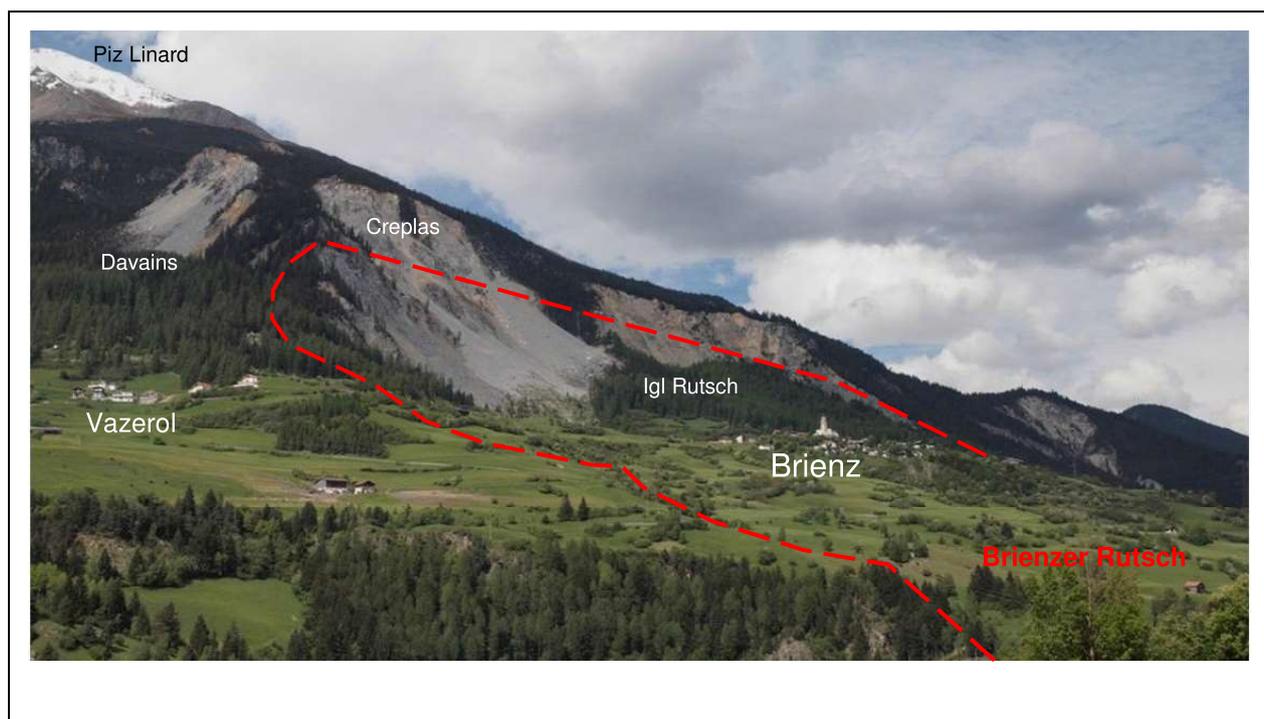
**Abb. 8:** a) Nackentäler im obersten Anriss Gebiet der Massenbewegung und rechts im Bild, Toppling im Felsen oberhalb des aktiven Felsabbruchs; b) aktiver Felsabbruchrand oberhalb von Brienz mit Verschiebungsraten bis zu 2 m/Jahr; c) westlicher Rand des Briener Rutsches und rechts im Bild, Felssturz mit hochenergetischem 50 m<sup>3</sup> Sturzblock, der vor der Straße zum Stillstand kam.

Im untersten Aufstoß Bereich des Briener Rutsches erodiert der Albula Bach seit Jahrtausenden, was davon ausgehende, progressiv Hang aufwärts aktivierte Rutschungen verursachte. Die heutige Erosionstätigkeit der Albula ist jedoch eingeschränkt.

Die Zwischen Brienz und Tiefencastel im westlichen Teil gelegenen Rutsch Schollen haben die höchsten Verschiebungsgeschwindigkeiten. Sie destabilisieren die Felsrippe, was beidseits davon die Felssturzaktivitäten erhöht (Abb. 7, 9).

Oberhalb des Brienzers Rutsches setzen sich die Schollen im Felsen fort. Die Wasser Aufstöße treten überwiegend entlang der unterschiedlich stark aktiven Schollen Ränder auf.

Von den kartierten Zugstrukturen (Spalten, Risse, Nackentälchen, langgestreckte Mulden) und Sackungselementen (Versätze, Abrisse, Geländesprünge, Erosionskanten) dominieren im Felsgebiet oberhalb Brienz NW-SE, NE-SW sowie E-W verlaufende Strukturen (Abb. 7).



**Abb. 9:** Brienz mit der durch den Rutsch destabilisierten, bewaldeten Felsrippe und den beidseits davon aktiven Felssturzgebieten Creplas und Davains

Die NW-SE und NE-SW verlaufenden Strukturen stimmen weitgehend mit den Hauptklüften der Gesteine überein. Oft folgt ihnen ein Schachbrettmuster von Spalten. Am häufigsten erscheint dies in den spröden Arlbergdolomiten. Im Gelände können sich diese Spalten Muster als gefährliches Labyrinth erweisen.

### **Modellbasis der Massenbewegung**

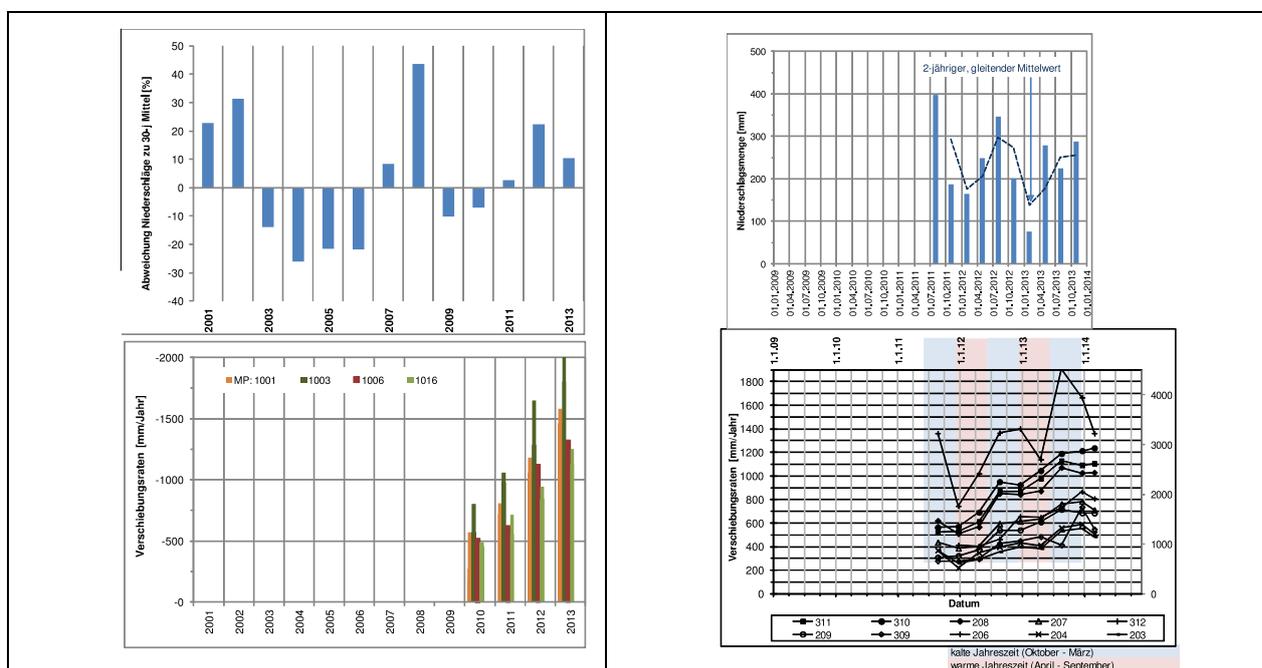
Die Untersuchungen brachten eine komplex aufgebaute Massenbewegung zu Tage, deren Ursprung in der Talgeschichte des Zusammenflusses von Albula und Julia zu finden ist (Oberhalbstein). Aufgrund der Tiefenerosion der Talgletscher und der nacheiszeitlichen Erosion durch die Haupt- und Seitenbäche wurde das Gebiet in den letzten Jahrtausenden von verschiedenen gerichteten Verschiebungsprozessen überprägt. Die Übertiefungen des Gebirgsreliefs von fast 1500 m bewirkten graduelle und kurzfristige Gebirgsentspannungen (Kriechen, Versacken, Gleiten, Sturz). Die in den Felsmassen in zeitlichen Abfolgen ändernden Freiheitsgrade und Spannungsfelder bestimmten zusammen mit dem geologischen Gebirgsaufbau die Art der Entfestigungsprozesse.

Die Gebirgsentfestigung begann mit einem in Richtung SE zum Albulatal hin verlaufenden Talzuschub, bestehend aus mehrere 100 m tiefen Gleit- und Sackungsprozessen. Dies als der Albula Gletscher ab dem Niveau von ~ 1400 m ü.M. die in Richtung E - SE einfallenden Flysch Gesteine freilegte (Abb. 5, 12).

Mit der Übertiefung der Schin Schlucht setzte voraussichtlich ab dem Niveau 1100 m bis 800 m ü.M. eine Gebirgsentspannung mit tiefgründigen, Richtung SW öffnenden Spaltenbildungen ein. Aufgrund der lithologischen und strukturellen Disposition konnten sich in Richtung Schin keine Gleitflächen ausbilden. Die Gebirgsentspannung verlief primär entlang sich öffnender Klüfte.

Durch das nach SE und SW tiefgründige Auseinanderdriften des durch die Tiefenerosion vorspringenden Gebirgsblocks wurden Zwängungen gelöst, was die nach Süden gerichtete Fels Sackung von Brienz ermöglichte (Abb. 11).

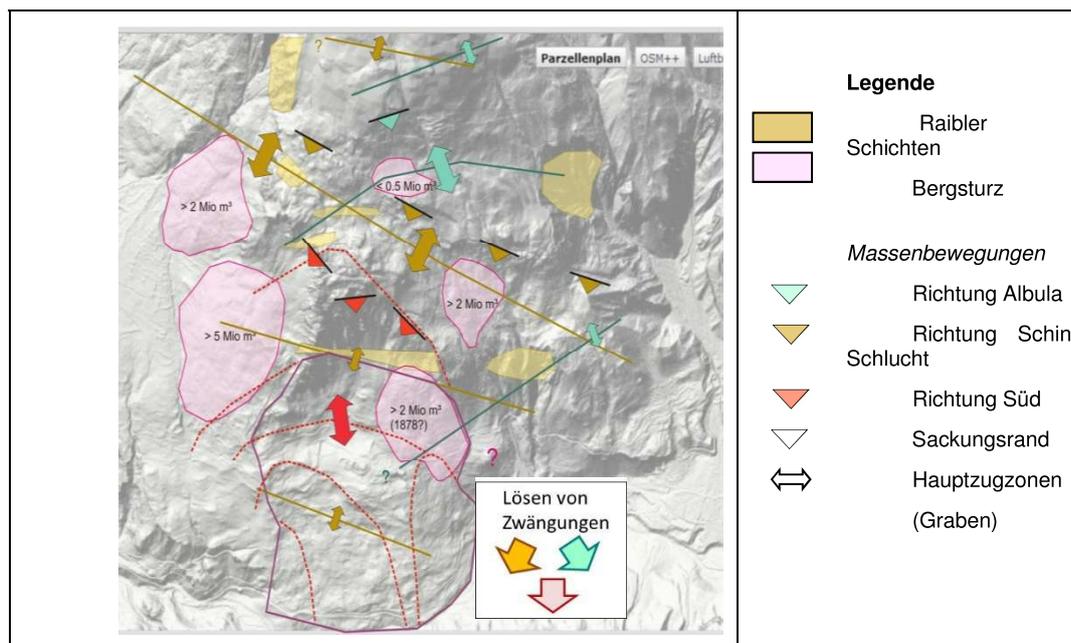
Diese mehrphasige Gebirgsentfestigung generierte komplex überlagerte Oberflächenstrukturen, deren Interpretationen sich schwierig gestalten und einen nicht abgeschlossenen Prozess darstellen.



**Abb. 10:** Links: Vergleich Abweichung der Jahresniederschläge [7] vom langjährigen Mittel in [%] mit den Verschiebungsraten der Geodäsie [mm/Jahr] [5]; rechts: Mittlere Niederschlagsmengen versus die Verschiebungsraten; in beiden Fällen sind periodische Abhängigkeiten von den Niederschlägen zu erkennen [2].

#### 4. Folgerungen

Die Beeinflussung der heutigen Sturzaktivitäten durch die Brienzer Rutschung hat sich bestätigt. Die im Laufe der Zeit entlang des Sackungsrandes von Brienz wandernden Felssturzaktivitäten sind derzeit in den Allgäuschiefern aktiv. Sturzaktivitäten, welche eine Dynamik eines Bergsturzes erreichen, erscheinen in den nächsten 50 – 100 Jahren unwahrscheinlich.

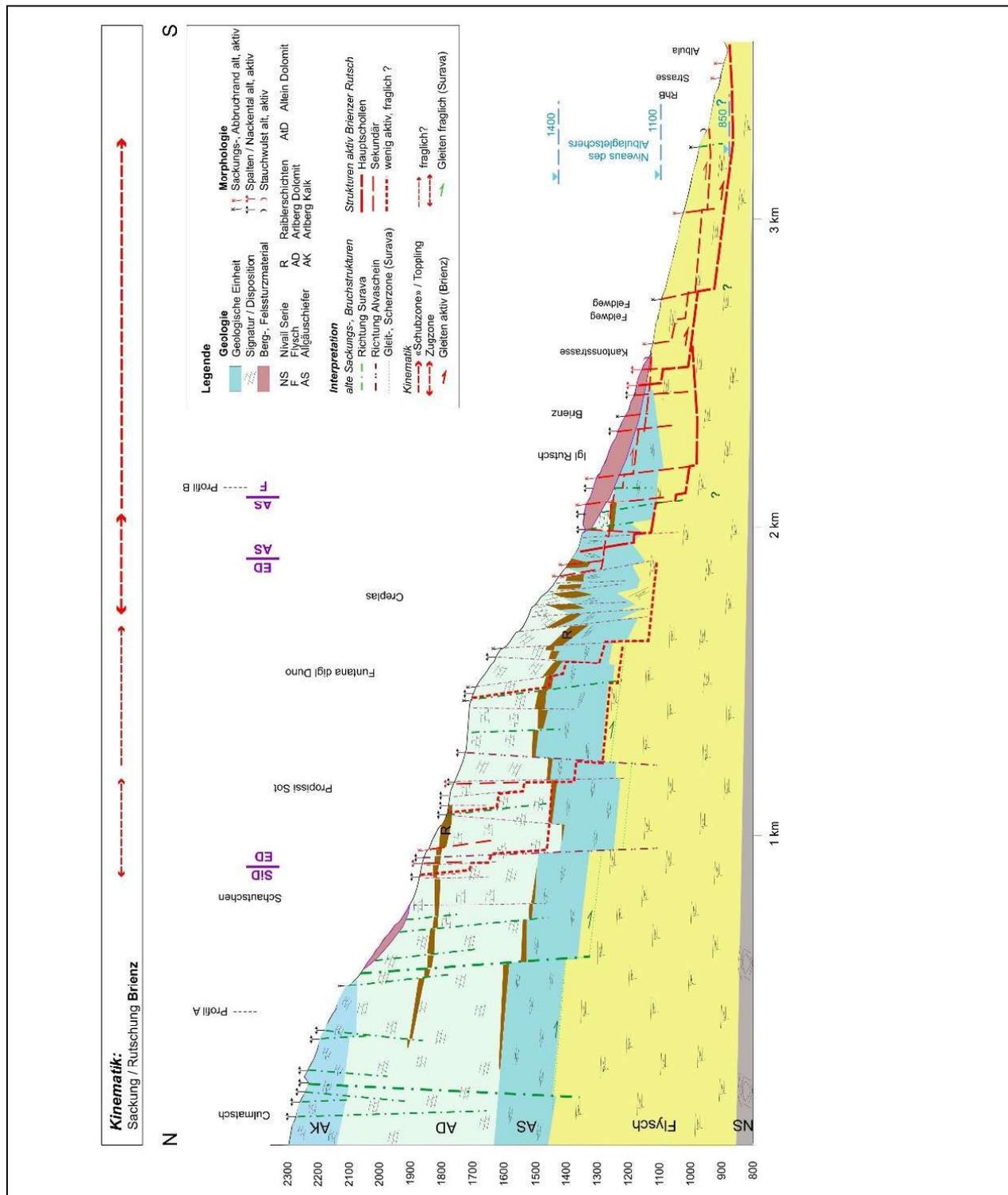


**Abb. 11:** Kinematisches Modell der Massenbewegung Brienz; in Richtung Albulatal kam es zu Gleitungen im Flysch mit Versackungen (grün); später öffneten sich in Richtung Schin Schlucht tiefgreifende Gräben und Spalten (braun); die Haupt Zugzonen treten in den Raibler Schichten auf; durch das großräumige Lösen von Zwängungen kam es zu der Süd gerichteten Sackung von Brienz.

Dies weil die heutigen, kinematischen Randbedingungen sich langfristig ändern müssen, damit Bergsturz begünstigende Szenarien eintreten können.

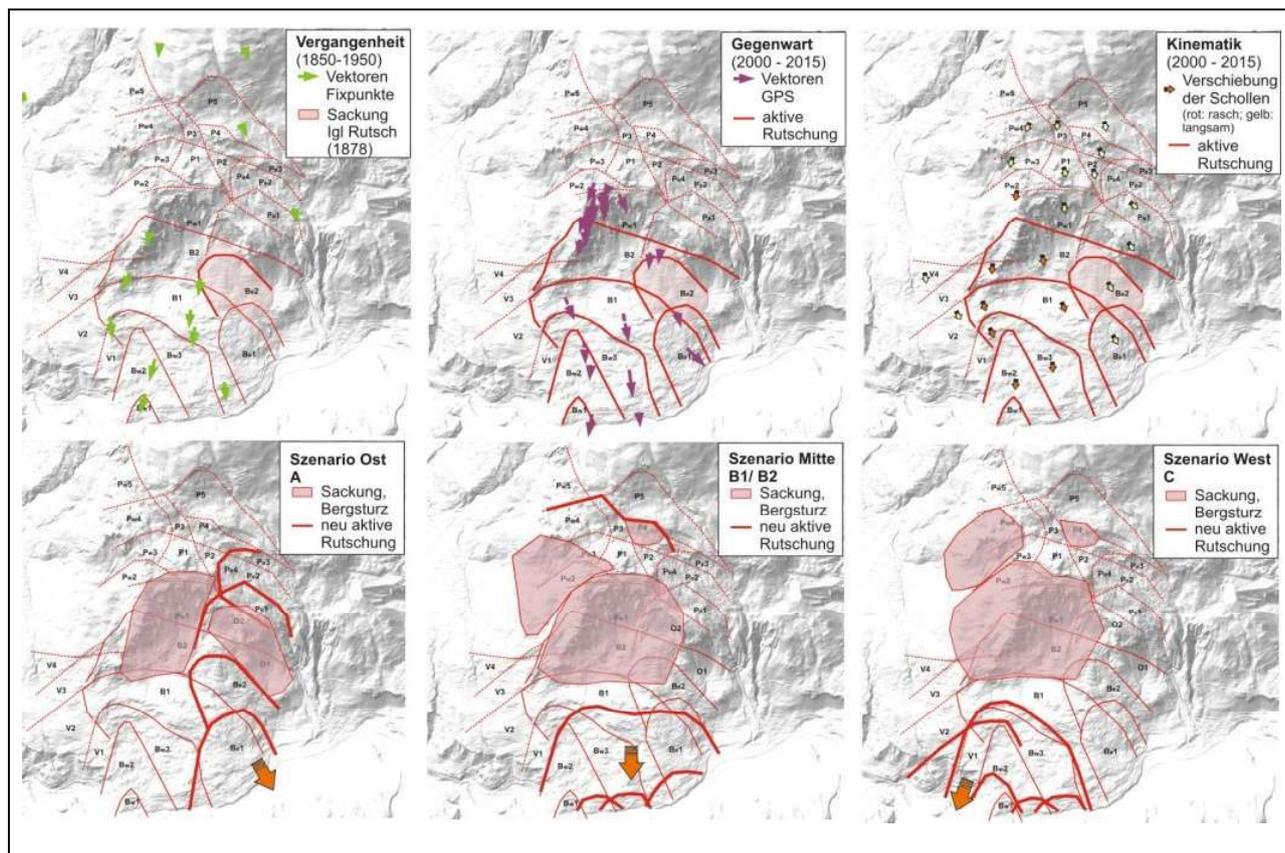
Langfristig erscheint auf dem heutigen Stand der Kenntnisse das Szenario „West“ am wahrscheinlichsten (Abb. 13). Dies beinhaltet das Verstürzen der Felsrippe nordwestlich von Brienz. Dies kann durch eine zunehmende Destabilisierung der westlichen Rutschfront von Brienz, ausgelöst durch beschleunigte Teilrutsche und/oder durch mobilisierte, bisher stabile Randschollen aktiviert werden.

Die Möglichkeiten von baulichen Maßnahmen, welche die Randbedingungen maßgebend zu beeinflussen vermögen und das Verzögern von Bergsturzszszenarien begünstigen, sind äußerst beschränkt.



**Abb. 12:** N-S verlaufendes, geologisches Profil D – D' mit tief bis in den nach SE einfallenden Flysch greifenden Graben-, Sackungs- und Rutsch-Strukturen [2].

Die in Hinblick auf eine Beruhigung der Massenbewegungen seit 1904 vorgenommenen, oberflächlichen Entwässerungsmaßnahmen vermögen die Bergsturzzenarien nicht relevant zu beeinflussen. Das aus Niederschlägen generierte, die Massenbewegung treibende Tiefenwasser kann nur marginal beeinflusst werden.



**Abb. 13:** Die geodynamische Szenarien Bildungen A - C mit beschleunigten Verschiebungen im Brienzler Rutsch in Pfeilrichtung [4, 6], lassen ausgehend von dem heutigen Modell erkennen, dass tiefgreifende, kinematische Veränderungen eintreten müssen, damit es zu weiteren Bergsturzereignissen kommen kann; diese Veränderungen können nur langsam stattfinden, was das Bergsturzrisiko in den nächsten 50 - 100 Jahren gering erscheinen lässt [2].

Für abgesicherte Prognosen wird eine räumlich erweiterte Langzeitvermessung der Geländeverschiebungen von großer Bedeutung sein. Wesentlich ändernde Randbedingungen in der Schollenkinematik können damit erfasst werden.

Um das auf Kartierungen und Datenauswertungen basierende, vorliegende Modell der Massenbewegung bestätigen zu können, sind aufwendige geophysikalische Abklärungen im Brienzler Rutsch (Seismik), kombiniert mit instrumentierten Bohrungen erforderlich.

## Referenzen

- [1] Andreas Ludwig 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] HQM Ingenieure AG 2013: 49. Folgemessung GPS Messungen Felssturzgebiet Caltgeras, Gemeinde Brienz/ Brinzauls
- [5] 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