

# Multiple early warning system on rock walls above a railway line in the Bernese Oberland (Switzerland)

## Multiples Früherkennungssystem an Felswänden oberhalb einer Eisenbahnstrecke im Berner Oberland (Schweiz)

Ueli Gruner, Dr. phil. nat.<sup>1</sup>; Hans-Heini Utelli<sup>2</sup>

### ABSTRACT

From the rock walls of a mountain section of the „Lötschberg“ railway line between the Bernese Oberland and Valais (Switzerland), rockfall events have occurred repeatedly, that are drastic for railway operations. That's why numerous and costly protective structures have been previously built and complemented steadily until today. However, these can not protect from large-volume falls. In order to further reduce the remaining death risk, a multiple early warning system was installed. The monitoring methods include simple manual measurements (distance detection between two pins) as well as best practices (such as tachymetry and Tele Joint meters) and most modern technology (laser and radar scanning). For the implementation of the results of this monitoring program, a detailed early warning dispositif was established, that indicates, which measures have to be taken in the case of relevant rock movements.

### ZUSAMMENFASSUNG

Aus den Felswänden einer Bergstrecke der Lötschberg-Eisenbahnlinie zwischen dem Berner Oberland und Wallis (Schweiz) haben sich immer wieder für den Bahnbetrieb einschneidende Sturzereignisse ereignet. Deswegen wurden schon früher zahlreiche und aufwändige Schutzbauten erstellt und bis heute immer wieder ergänzt. Diese können jedoch grossvolumige Stürze nicht zurückhalten. Um das verbleibende Todesfallrisiko weiter zu reduzieren, wurde ein multiples Früherkennungssystem eingerichtet. Die Überwachungsmethoden reichen von einfachen Handmessungen (Abstandserfassung zwischen zwei Bolzen) über bewährte Verfahren wie Tachymetrie und Telejointmeter bis zur modernsten Technologie (Laser- und Radar-Scanning). Für die Umsetzung der Ergebnisse aus dieser Messüberwachung besteht ein detailliertes Frühwarndispositiv, das die einzelnen Handlungsschritte bei relevanten Felsbewegungen aufzeigt.

### KEYWORDS

rock fall; rock monitoring; early detection; early warning; alert dispositif

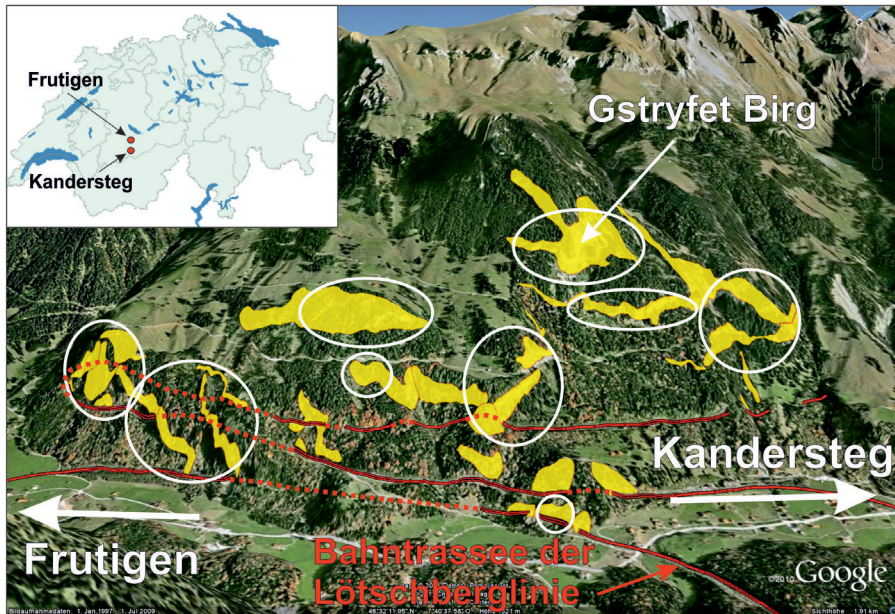
1 Kellerhals+ Haefeli AG Bern, SWITZERLAND, ueli.gruner@k-h.ch

2 Impuls AG

## EINLEITUNG

Die BLS Netz AG betreibt auf der Strecke zwischen Bern und Brig (Berner Oberland/Wallis, Schweiz; Fig. 1) seit über 100 Jahren die Lötschberglinie, welche Gebiete nördlich der Alpen mit Italien verbindet. Auch nach der Eröffnung des Lötschberg-Basistunnels im Jahr 2007 wird die doppelspurige Bergstrecke zwischen Frutigen und Brig zum Transport von Personen und Gütern verwendet. Auf dem rund 17 km langen Abschnitt zwischen Frutigen und Kandersteg im Berner Oberland verläuft die Bahnlinie unter teilweise hohen Felswänden. Für die Bahnlinie besteht auf vielen Abschnitten ein grosses Gefahrenpotenzial. So kam es in der Vergangenheit immer wieder zu Felsstürzen, welche neben Sachschäden z.T. auch mehrtägige Bahnunterbrüche verursachten.

Im Rahmen einer Gefahren- und Risikoanalyse wurden für die gravitativen Naturgefahrenprozesse auf der Bahnstrecke Frutigen - Kandersteg diejenigen Abschnitte ausgeschieden, bei welchen für Mensch und Anlage ein erhöhtes Risiko besteht (Utelli et al., 2016).



Figur 1: Situation des Überwachungsgebiets der Eisenbahnstrecke Frutigen – Kandersteg (Lötschberglinie, rot markiert) mit den rund 30 Liefergebieten (Flächen) und den Gefahrengebieten (eingekreiste Flächen)

Als Schutzziel wurde festgelegt, dass das durch Naturgefahren verursachte, zusätzliche individuelle Todesfallrisiko für Bahnreisende nicht mehr als  $1 \times 10^{-5}$ /Jahr betragen soll. Um dies zu erreichen, wurde ein Massnahmenkonzept bzw. -plan erarbeitet. Dieser sieht neben den bereits weitgehend umgesetzten baulichen Massnahmen auch organisatorische Massnahmen vor. Dazu zählt nebst einer elektronischen Steinschlagüberwachung in den bestehenden

Schutznetzen (mit vorübergehendem Fahrleitungsunterbruch bei einem Input) ein in den letzten Jahren eingerichtetes, multiples Früherkennungssystem für Felsbewegungen. Mit diesem System (bzw. mit den bei signifikanten Bewegungen vorzunehmenden Massnahmen) kann das nach den baulichen Massnahmen verbleibende Personenrisiko nochmals um rund 2/3 reduziert werden.

Die Früherkennung beruht auf sieben verschiedenen Messmethoden (vgl. Tab. 1), die weiter unten näher beschrieben werden. Für das System gelten gewisse, vor allem geologisch bedingte Voraussetzungen, auf die im nachfolgenden Kapitel näher eingegangen wird.

Tabelle 1: Zusammenstellung der Messmethoden für die Erfassung von Felsbewegungen oberhalb der Eisenbahnstrecke Frutigen – Kandersteg

Messmethoden	Anzahl Messpunkte	Messrhythmus/Jahr	Messgenauigkeit
Tachymetrie	41	2 x	ca. 1 mm
Handmessstellen	70	2 x	ca. 1 mm
Siegel	32	2 x	ca. 0.5 mm (Risse)
Radar-Scanning	3 Gefahrengelände	1 x	ca. 1 mm
Laser-Scanning	2 Gefahrengelände	1 x	ca. 2 cm bis 4 cm
Telejointmeter	3 x 3 („Gstryfet Birg“)	permanent	0.1 mm
Inklingo-/Extensometer	6 („Gstryfet Birg“)	alle 3 Jahre	1 mm auf 10 m/0.1 mm

### VORAUSSETZUNGEN FÜR DAS FRÜHERKENNUNGSSYSTEM

Bei einer Früherkennung von grösseren Felsbewegungen im Überwachungsgebiet gehen die Bearbeiter von folgenden Voraussetzungen aus:

Grössere Felspartien brechen i.d.R. nicht spontan ab. Felsinstabilitäten entstehen nämlich durch einen häufig Monate oder sogar Jahre dauernden Entfestigungs- und Ablösungsprozess in Form eines Kohäsionsabbaus. Sie kündigen sich somit in erster Linie durch eine Beschleunigung der Felsbewegungen an. Diese fortschreitenden Ablösungsprozesse können durch eine gut instrumentierte und an den massgeblichen Stellen eingerichtete Felsüberwachung meist rechtzeitig erkannt werden.

An die Messgenauigkeit sind unterschiedliche Anforderungen zu stellen. Bei grösseren Felsmassen sind Bewegungen in der Grössenordnung von cm bis dm möglich, ohne dass ein Absturz erfolgt. Eine Messgenauigkeit im mm-Bereich ist somit absolut genügend. Dies umso mehr, als sich infolge von Temperaturschwankungen Felsbewegungen ergeben können, die allein im Tagesverlauf Unterschiede von bis zu 1 mm und im Jahresverlauf solche von bis zu 4 mm zeigen, ohne dass sich dabei eine generelle Veränderung der Felsstabilität ergibt (Gruner 2008, Gruner 2012).

Bei einer frühzeitigen Erkennung von relevanten Bewegungen bleibt i.d.R. genügend Zeit, um entsprechende Massnahmen vor einem definitiven Absturz zu ergreifen (z.B. Sprengungen, bauliche Massnahmen etc.).

## **GEOLOGIE UND LIEFERGEBIETE DER STURZPROZESSE**

Die Felswände oberhalb der Bahnlinie bestehen aus z.T. massigen Kalken und Kieselkalken der Kreide (Wildhorn-Decke des Helvetikums). Die ausgeprägten Verfaltungen und Verschupungen der Schichtabfolgen führen dazu, dass das Gestein ein z.T. enges Trennflächengefüge aufweist. Diese Ausgangslage hat zur Folge, dass es im Untersuchungsgebiet immer wieder zu Stein- und Blockschlag sowie auch zu Felsstürzen ( $>100 \text{ m}^3$ ) gekommen ist.

Im Rahmen der eingangs erwähnten Gefahren- und Risikoanalyse wurden im Untersuchungsgebiet rund 30 Liefergebiete für Sturzprozesse ausgeschieden. Einige davon stellen für die Bahnlinie jedoch keine Gefährdung dar (Tunnels, ausreichend dimensionierte Schutzbauten, geringe Reichweite der Sturzkörper etc.). Es verbleiben neun so genannte Gefahrengebiete, aus denen grobblockige Felsteile oder sogar grossvolumige Felspartien ausbrechen und trotz den errichteten Schutzwerken bis auf die Bahnlinie gelangen können (vgl. Fig. 1). Das Ziel des Früherkennungssystems ist es, diese potenziellen grossen Felsinstabilitäten messtechnisch möglichst vollständig und frühzeitig zu erfassen, um allfällig notwendige Massnahmen rechtzeitig ergreifen zu können.

## **MESSMETHODEN**

### **Tachymetrie**

Drei Gefahrengebiete werden tachymetrisch überwacht (total 41 Reflektoren, Messdistanz ca. 600 bis 800 m). Die Reflektoren wurden an grösseren, potenziell instabilen Felspartien (meist  $>$  mehrere  $10 \text{ m}^3$ ) montiert, wo klare Ablösungserscheinungen vom gesunden Felsverband festgestellt werden konnten. Vorteilhaft ist, dass die tachymetrische Fernüberwachung nebst der genügenden Genauigkeit von rund 1 mm auch kostengünstig ist und bei Bedarf problemlos um weitere Messpunkte ergänzt werden kann. Zudem können die Messpunkte, falls notwendig, auch permanent gemessen und mit Schwellenwerten (z.B. für eine Intervention) versehen werden. Nachteilig ist bei dieser Methode, dass sie bei schlechter Sicht (Nebel) keine brauchbaren Resultate liefert und zudem nur eine bedingte räumliche Aussagekraft hat.

### **Handmessungen**

Die insgesamt 70 Handmessstellen (total 130 Messpunkte) und die 32 Siegel liegen verteilt auf alle neun Gefahrengebiete. Die Messstellen befinden sich an Felsklüften, d.h. es werden i.d.R. nur Teilbereiche einer Felsinstabilität gemessen. Dank der speziell konstruierten Messspitzen (aufgeschraubt auf in den Fels eingebohrten Bolzen) liegt die Messgenauigkeit im mm-Bereich. Die Messstellen wurden an mittelgrossen, potenziell instabilen Felspaketen eingerichtet (ca. 5 bis  $50 \text{ m}^3$ ), bei welchen infolge der Vegetation kaum eine andere sinnvolle

Überwachungsmöglichkeit bestand. Vorteilhaft ist, dass die Handmessungen nebst der genügenden Genauigkeit auch kostengünstig sind und bei Bedarf problemlos um weitere Messstellen ergänzt werden können. Nachteilig ist bei dieser Methode, dass das Gefahrengbiet jeweils begangen werden muss; zudem besteht nur eine bedingte räumliche Aussagekraft.

### **Siegel**

Die 32 eingerichteten Siegel aus Zement wurden meist als Ergänzung zu den Handmessstellen an den gleichen Gefahrenstellen angebracht. Es gelten die gleichen Merkmale wie bei der Handmessmethode.

### **Radar-Scanning**

Mit einem Radar-Scanning (Radar Interferometrie) können von einem Geländestandort aus mittels eines mobilen Radargerätes ganze Felswände abgetastet werden (vgl. Wiesmann, Gruner 2011). Bei einer Messdistanz von rund 700 m bis 900 m beträgt die Messgenauigkeit rund 1 mm und die minimal detektierbare Felsfläche ca. 6 m<sup>2</sup>. Mit dem Radar-Scanning werden von einem Standort aus drei Gefahrengebiete überwacht. Vorteilhaft ist, dass das Radar-Scanning nebst der genügenden Messgenauigkeit eine grosse Felsfläche mit einer einzigen Messung erfasst und dass das Gerät auch permanent eingesetzt und mit einer Alarmierungsanlage kombiniert werden kann. Nachteilig ist bei dieser Methode, dass sie relativ teuer ist und dass die Vegetation in der Felswand falsche Signale übermitteln und so eine vermeintliche Bewegung darstellen kann.

### **Laser-Scanning**

Mit dem mobilen Gerät für das Laser-Scanning kann ebenfalls eine Felswand als Ganzes erfasst werden. Die Messgenauigkeit ist bei dieser Methode jedoch mit 2 cm bis 4 cm bedeutend niedriger als bei allen übrigen Messverfahren. Diese Messmethode wird bei zwei Gefahrengebieten eingesetzt, wo die Messdistanzen relativ gering sind (ca. 300 m bis 500 m) und die Messgenauigkeit somit etwas besser ist. Die minimal detektierbare Felsfläche liegt bei wenigen m<sup>2</sup>. Die gegenüber dem Radar-Scanning geringere Messgenauigkeit wird durch die geringeren Kosten etwas aufgewogen. Auch beim Laser-Scanning kann das Gerät für eine permanente Überwachung eingesetzt werden. Nachteilig ist, dass auch hier die Vegetation in der Felswand falsche Signale bzw. eine vermeintliche Bewegung suggeriert.

### **Telejointmeter**

Im zentralen Abschnitt der Strecke Frutigen – Kandersteg befindet sich, etwa 300 Höhenmeter über der Bahnlinie, eine grosse instabile Partie mit einer Kubatur von rund 100'000 m<sup>3</sup> („Gstryfet Birg“). Die rund 100 m hohe Felswand ist bergseits zum grossen Teil durch eine weit offene Hauptkluft vom stabilen Wandbereich abgetrennt. Die felsmechanisch mögliche Kippbewegung der labilen Felsmasse wird – nebst tachymetrischen Messungen – mittels an

drei Standorten der Hauptkluft angeordneten Telejointmeter permanent, d.h. jede Minute, erfasst.

### Inklino-/Extensometer

Gemäss dem geologischen Modell bewegt sich die instabile Gebirgsmasse des „Gstryfet Birg“ entlang von mehreren Gleitebenen talwärts. Zur Früherkennung solcher Gleitbewegungen werden ergänzend in sechs Bohrlöchern periodisch Inklino- und Extensometermessungen gemacht.

### FRÜHWARN- UND ALARMDISPOSITIV

Durch das grosse Spektrum von Messmethoden mit regelmässigen Messungen wird eine grosse Anzahl von Messwerten generiert. Um diese Resultate sinnvoll und praxistauglich zu verarbeiten, wurde im Jahr 2012 zusammen mit dem Früherkennungssystem ein Frühwarn- und Alarmdispositiv mit einem detaillierten Verfahrensablauf entwickelt (vgl. Fig. 2).

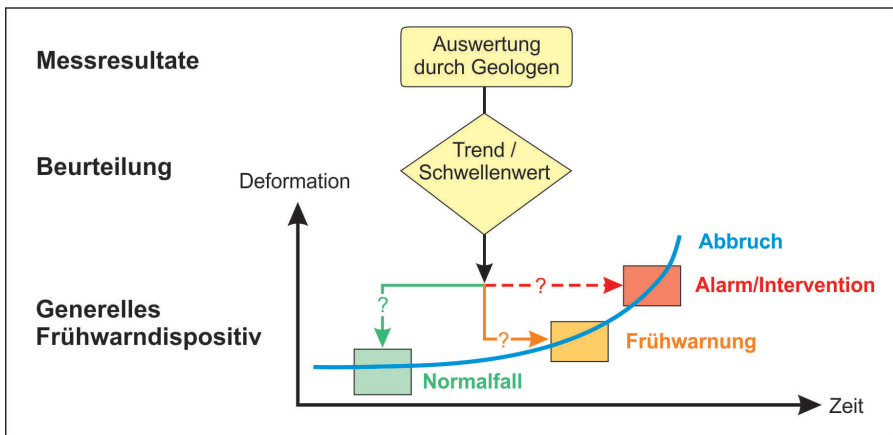


Figure 2: schematische Darstellung des Verfahrensablaufes beim Frühwarn- und Alarmdispositiv der Eisenbahnstrecke Frutigen – Kandersteg

Grundsätzlich wird mit der Festlegung von Schwellenwerten zurückhaltend umgegangen, dies v.a. auch, um vorsorgliche Sperrungen der Bahnlinie wegen unbegründeter Alarme möglichst zu vermeiden. Die Beurteilung erfolgt deshalb schrittweise in Bezug auf die relativen Bewegungen (Trendbeurteilung).

Gemäss dem Dispositiv ist es die Funktion und Aufgabe des Geologen, die Messergebnisse regelmässig zu beurteilen und zu interpretieren. Zeigen einzelne Messwerte signifikante Felsbewegungen, findet eine Feldbeurteilung statt, und das Messdispositiv wird gegebenenfalls ergänzt und/oder der Messrhythmus erhöht. Die Bahnbetreiberin – die BLS Netz AG – wird bei diesen Schritten jeweils informiert. Werden Schwellenwerte relevant überschritten, kann eine permanente Felsüberwachung eingerichtet werden (mit Alarmdispositiv).

Denkbar sind zudem sofortige bauliche Massnahmen wie z.B. Felssicherungen oder auch Sprengungen. Im Notfall kann die Strecke gesperrt werden. Bei diesen Schritten – als Intervention bezeichnet – wird die Bahnbetreiberin in die Entscheidung und auch in die Verantwortung eingebunden.

Bei der grossen, rund 100'000 m<sup>3</sup> umfassenden, labilen Felspartie „Gstryfet Birg“ wurde das Zeitfenster zwischen periodischen Einzelmessungen als (zu) lang betrachtet, d.h. die Felsbewegungen werden dort bereits seit längerer Zeit permanent mit Telejointmeter erfasst. Es besteht ein separates Alarmsystem mit definierten Schwellenwerten für die einzelnen Gefahrenstufen. Für jede der vier ausgeschiedenen Gefahrenstufe (Normalfall, Warn-, Alarm- und Interventionsstufe) gibt es einen Vorgehensplan mit jeweils einzelnen Vorgehenschritten und Meldeabläufen.

### ERGEBNISSE

Seit der Einführung des integralen Früherkennungssystems im Jahr 2012 haben sich keine relevanten Felsbewegungen ergeben, welche eine wichtige Handlung im Sinne des Frühwarnsystems ausgelöst hätten. Handmessungen, Siegelüberwachung, tachymetrische wie auch Inkli- und Extensometermessungen zeigten bisher keine beschleunigenden Felsbewe-

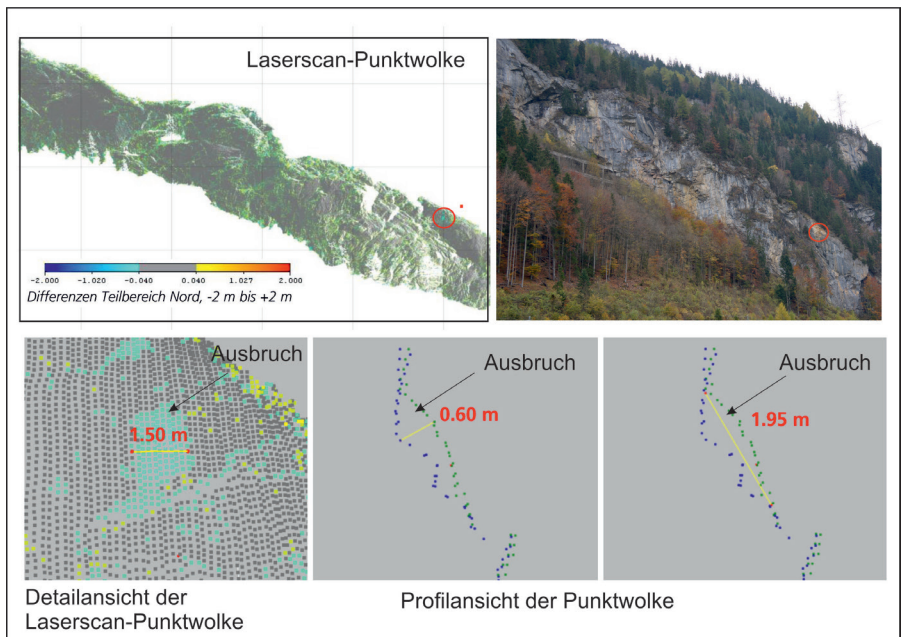


Figure 3: Aufnahme eines Laser-Scanning mit festgestelltem Felsausbruch von rund 2 m<sup>3</sup> (Kreis; oben), Darstellung des Felsausbruchs als Punktwolke (Fläche, Profile; unten)

gungen. Allerdings ist bei den bereits seit über 10 Jahren laufenden Messungen am „Gstryfet Birg“ ein klarer, talwärts gerichteter Trend der Bewegung erkennbar (jährlich

jeweils ca. 1-2 mm); dies wird jedoch gemäss Frühwarndispositiv als „Normalfall“ betrachtet. Die permanenten Bewegungsmessungen mittels Telejointmeter am „Gstryfet Birg“ zeigen den erwähnten Trend der Bewegung ebenfalls. Allerdings sind hier die Temperatur bedingten bzw. jahreszeitlichen Einflüsse auf die Felsbewegungen erkennbar: Im Winter bei kalter Witterung erfolgt eine Kontraktion des Gesteins und somit eine leichte Öffnung der Kluft. Im Sommerhalbjahr weitet sich die Gesteinsmasse etwas aus und die Kluft schliesst sich leicht (vgl. Gruner 2008). Diese felsmechanische Erkenntnis dient auch zur Interpretation der Einzelmessungen bei den anderen Messmethoden.

Das Radar-Scanning im Abschnitt Frutigen – Kandersteg hat bisher keine relevanten Felsbewegungen aufgezeichnet. Die Erfahrung aus einem benachbarten Überwachungsgebiet für eine Nationalstrasse hat jedoch gezeigt, dass dort auch bei kleinen Felsvolumina von wenigen 10 m<sup>3</sup> Bewegungen im mm-Bereich erkannt und anschliessend im Feld eindeutig verifiziert werden konnten.

Auch mittels Laser-Scanning konnten auf der Strecke Frutigen – Kandersteg bisher keine Felsbewegungen frühzeitig detektiert werden. Hingegen wurden kleinere Felsabbrüche festgestellt (Volumen bis ca. 5 m<sup>3</sup>; vgl. Fig. 3), wo allerdings vorgängig keine entsprechenden Signale festgestellt wurden. Dies dürfte einerseits auf die eher schlechte Messgenauigkeit zurückzuführen sein, andererseits aber auch auf das Messintervall (jährliche Messung), innerhalb welchem es zu einer schnellen Ablösung aus dem Felsverband gekommen ist. Dank dem Hinweis aus dem Laser-Scanning wurden die einzelnen Stellen nach dem Ereignis jeweils besichtigt, um nach allfällig verbleibenden Felsinstabilitäten zu suchen (was aber nicht der Fall war).

## SCHLUSSFOLGERUNGEN

Ein integrales Früherkennungssystem kann, falls es stufengerecht und massgeschneidert auf die Lokalverhältnisse eingerichtet wird, für die Sicherheit der Bahn einen wichtigen Beitrag leisten. Dabei ist eine Kombination von bewährten Messmethoden (z.B. Handmessungen) und moderner Technologie (z.B. Radar-Scanning) anzustreben. Entscheidend ist jedoch, dass die Messergebnisse durch erfahrene, mit den lokalen Verhältnissen vertraute Geologen ausgewertet und interpretiert werden. Dazu braucht es nicht nur Fachwissen, sondern auch eine auf Erfahrung aufgebaute Intuition, um die Signale eines kommenden Ereignisses rechtzeitig zu erkennen und entsprechend zu interpretieren. Dies bedeutet, dass der Geologe ein gewisses Mass an Gelassenheit aufweisen sollte, damit die Bahnstrecke nicht bereits bei kleinen Felsbewegungen gesperrt wird. Es bedeutet aber auch, dass er die Messresultate selbst in ruhigen Zeiten mit Aufmerksamkeit verfolgen sollte, damit er relevante Bewegungssignale – im Sinne der Frühwarnung – rechtzeitig erkennt.



## REFERENZEN

- Gruner U. (2008). Klimatische und meteorologische Einflüsse auf Sturzprozesse. Proceed. Conf. INTERPRAEVENT 2008/2: 147-158.
- Gruner U. (2012). Sturzereignisse in der Schweiz – eine statistische Auswertung. Swiss Bull. angew. Geologie 17/2: 63-71.
- Utelli H.-H., Kuster F., Pfammatter Ch. (2016). Integrales Naturgefahrenmanagement der BLS AG. Proceed. Conf. INTERPRAEVENT 2016.
- Wiesmann A., Gruner U. (2011). Radar-Interferometrie im Einsatz für die Stabilitätsüberwachung von grossflächigen Felswänden. Swiss Bull. angew. Geologie 16/1: 51-55.