

Zeitschrift: Swiss bulletin für angewandte Geologie = Swiss bulletin pour la géologie appliquée = Swiss bulletin per la geologia applicata = Swiss bulletin for applied geology

Herausgeber: Schweizerische Vereinigung von Energie-Geowissenschaftlern;
Schweizerische Fachgruppe für Ingenieurgeologie

Band: 23 (2018)

Heft: 1

Artikel: Präventive Überwachungs- und Sicherungsmassnahmen der SBB in einer Felspartie oberhalb der Gotthard Hauptlinie nördlich von Bellinzona

Autor: Gruner, Ueli / Hauser, Marc

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-832394>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 02.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Präventive Überwachungs- und Sicherungsmassnahmen der SBB in einer Felspartie oberhalb der Gotthard Hauptlinie nördlich von Bellinzona Ueli Gruner¹, Marc Hauser²

Stichworte: Felssturz, Naturrisiken, Früherkennung, Prävention, Sprengung, SBB

Zusammenfassung

In den letzten Jahren sind bei den organisatorischen Massnahmen wichtige technische Fortschritte gemacht worden, so dass diese heute ein wichtiger Bestandteil des präventiven Risikomanagements der SBB ausmachen. Am Beispiel einer Not-sprengung von 120 m³ losem Fels oberhalb von Cresciano kann die entscheidende Rolle der Felsüberwachung in der Naturgefahrenprävention aufgezeigt werden. Dank Messdaten aus Handmessstellen, tachymetrische Felsüberwachung und online Monitoring konnten der Abbruch einer instabilen Felspartie rechtzeitig erkannt und Massnahmen präventiv erfolgreich umgesetzt werden.

Abstract

Thanks to the technical progress made in recent years, organisational measures are now an important part of SBB's preventive risk management. The example of an emergency blasting of 120 m³ of instable rock above Cresciano shows the important role of rock monitoring in the prevention of natural hazards. Thanks to measurement data from manual measuring points and online monitoring, the failure of an unstable rock section could be detected early and the emergency measures could be planned early and successfully implemented.

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

Die SBB-Linie zwischen Airolo und Bellinzona liegt vielerorts am Fuss von steilen Felswänden, aus welchen mehrere Kubikmeter grosse Sturzkörper ausbrechen und auf die Bahnlinie stürzen können. Diese riesigen Ausbruchsvolumen und Sturzkörper sind zum Teil technisch nicht mehr verbaubar und müssen daher von Spezialisten überwacht werden.

Die SBB lässt deshalb kritische Felswände mit potenziell instabilen Felspartien periodisch oder sogar permanent überwachen. Damit will man frühzeitig Informationen über die Entwicklung der Bewegung erhalten, um bei einer Akzentuierung der Gefahrenlage allfällige Schutzmassnahmen rechtzeitig planen und realisieren zu können.

Lange Zeit beschränkte man sich in diesem Gebiet auf einfache Handmessungen an offenen Spalten sowie auf Beobachtungen im Gelände. Im Rahmen der Digitalisierung und der industriellen Überwachung wurden in den letzten Jahren die Methoden der Felsüberwachung stetig verbessert, so dass heute ein Online Monitoring von kleinsten Felsbewegungen möglich ist. Dabei ist wichtig zu wissen, dass grössere Felspartien in der Regel nicht spontan abbrechen. Der Entfestigungs- und Ablösungsprozess im Fels dauert häufig Monate oder sogar Jahre und beginnt

¹ Kellerhals + Haefeli AG, Kapellenstrasse 22, 3011 Bern, e-mail: ueli.gruner@k-h.ch

² SBB AG, Infrastruktur, Natur und Naturrisiken, Postfach 3000 Bern 65, e-mail: marc.hauser@sbb.ch

mit sehr kleinen Felsbewegungen mit konstanter Geschwindigkeit. Am Ende des Ablösungsprozesses kommt es in der Regel zum Felsabsturz. Dieser Prozess ist charakterisiert durch eine Beschleunigung der Felsbewegungen (Gruner & Utelli 2016).

Das Ziel der Früherkennung ist es, das Bewegungsmuster von instabilen Felspartien zu erkennen und daraus den Zeitpunkt des drohenden Abbruchs möglichst genau abzuleiten. Damit verschafft sich die SBB in der Regel genügend Zeit, um die richtigen Entscheidungen bzw. Massnahmen zum Schutz der Bahnlinie zu treffen.

1.2 Felsüberwachung in der Leventina und Riviera

Heute werden zwischen Airolo und Bellinzona insgesamt 13 grössere Felsgebiete mittels Tachymetrie vom Tal aus vermessen. Die Ausscheidung dieser kritischen Felswände erfolgte auf Grund von visuellen Erstbeurteilungen aus dem Helikopter und geologischen Nachbeurteilungen vor Ort. Mehrmals pro Jahr werden die zahlreichen Reflektoren in den Felswänden mittels Lasergeräten angepeilt. Ergänzend dazu werden an zahlreichen Stellen periodische Handmessungen vorgenommen. An einigen Stellen bestehen auch permanente online Felsüberwachungen mit automatischen Distanzmes-

sern (Telejointmeter), welche ihre Daten laufend an einen zentralen Internet Server übermitteln. Bei Stellen mit einem erhöhten Risiko werden diese Felsmessungen noch durch terrestrische Radar- sowie Laserscan-Aufnahmen ergänzt.

Zusätzlich wurden im Jahr 2014 für die Leventina und die Riviera Satellitendaten aus den letzten 20 Jahren ausgewertet. Die aus einer Höhe von 600 bis 800 km gemachten Radarbilder können, mit einer Auflösung von rund 20 m, grössere Geländeverschiebungen im mm-Bereich detektieren (vgl. auch Wegmüller et al., 2013). Die Frage, ob es in der Leventina und Riviera grössere Felsinstabilitäten gibt, welche für die Sicherheit der SBB Bahnlinie relevant sein könnten, konnte negativ beantwortet werden.

Anhand des folgenden Beispiels kann schön aufgezeigt werden, wie präventives Naturgefahrenmanagement erfolgreich umgesetzt werden kann. Diese Schritte beinhalteten: Eine routinemässigen Fernüberwachung über mehrere Jahre, die Entdeckung einer Messanomalie im Herbst 2016, eine Intensivierung der Überwachung mit einem online Monitoring sowie die Massnahmenplanung und Umsetzung mit dem sprengtechnischen Abtrag im Sommer 2017.

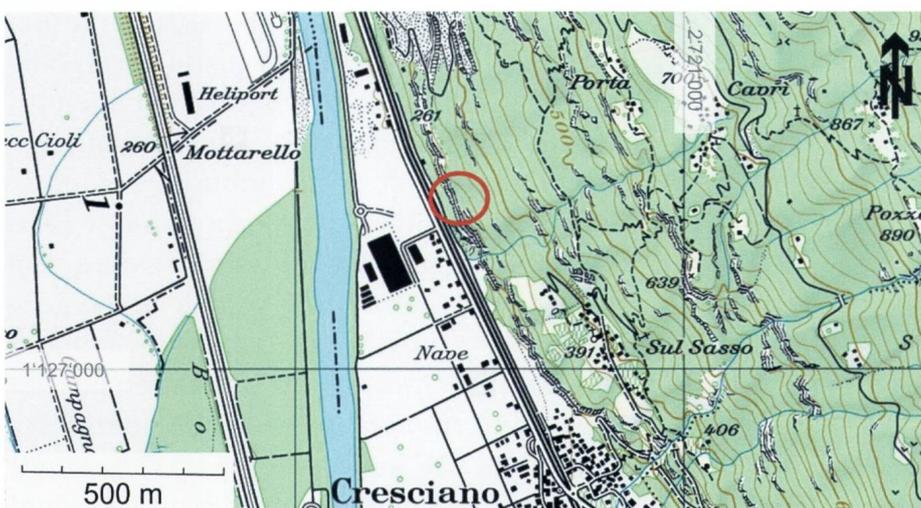


Fig. 1: Situation mit einem mehrere 100 m langen, steilen Felsband nahe der SBB-Linie und der instabilen Felspartie (roter Kreis).

2 Situation

2.1 Allgemeine Lage

Nördlich von Bellinzona bei Cresciano (Koordinaten 2.720.430/1.127.430) verläuft die SBB-Linie über mehrere hundert Meter entlang einer bis zu 150 m hohen senkrechten Felswand (Fig. 1 und 2). Im Rahmen von periodischen Felsmessungen werden hier seit vielen Jahren mehrere labile Felskompartimente mittels Handmessungen überwacht. Zusätzlich wird die Bahnlinie mit elektronisch überwachten 100 kJ Schutznetzen vor dem Überlastfall geschützt.

2.2 Geologie

Die Felswand besteht aus massigem, granitischem Leventinagneis. Infolge der glazialen Überprägung ist der Fels vor allem in den obersten Bereichen rundgeschliffen. Die Felswände sind durch ein Kluftsystem mit mehreren steil einfallenden Klüften in einzelne Felskomplexe unterteilt. An einzelnen Stellen sind diese Felspartien auch unterschritten. Einem dieser Felspakete – im mittleren Abschnitt der Felswand – liegen im Kopfbereich mehrere grössere Gneisplatten auf

(Fig. 3). Der massige Felskomplex selbst hat sich bergseits durch eine lokal weit offene Kluft vom stabilen Felsverband abgelöst; er umfasst ein Volumen von rund 20'000 bis 30'000 m³ (Fig. 2).

2.3 Messüberwachung, Messergebnisse

Eine an der erwähnten offenen Kluft angebrachte, alte Handmessstelle zeigte zwischen 2007 und 2013 eine Öffnung um rund 1 cm, das heisst eine Felsbewegung von 0.20 mm/a. Die im Frühjahr 2014 neu installierte Handmessstelle Nr. 712 ergab bis Ende 2016 ein Fortschreiten der Kluftöffnung um weitere 5 mm (Fig. 4). Dabei war ab 2015 eine leichte Beschleunigung erkennbar, welche sich im Verlaufe des Jahres 2016 noch etwas verstärkte. Die beiden für die tachymetrische Felsüberwachung am massigen am massigen Felskomplex angebrachten Reflektoren Nr. 353 und Nr. 354 liessen auf eine geringe, talwärts gerichtete Bewegung dieses Komplexes schliessen (ca. 3 mm in 3 Jahren; Fig. 5). Diese Messergebnisse bewogen die SBB, eine Verifizierung und detaillierte Begutachtung vor Ort vorzunehmen.

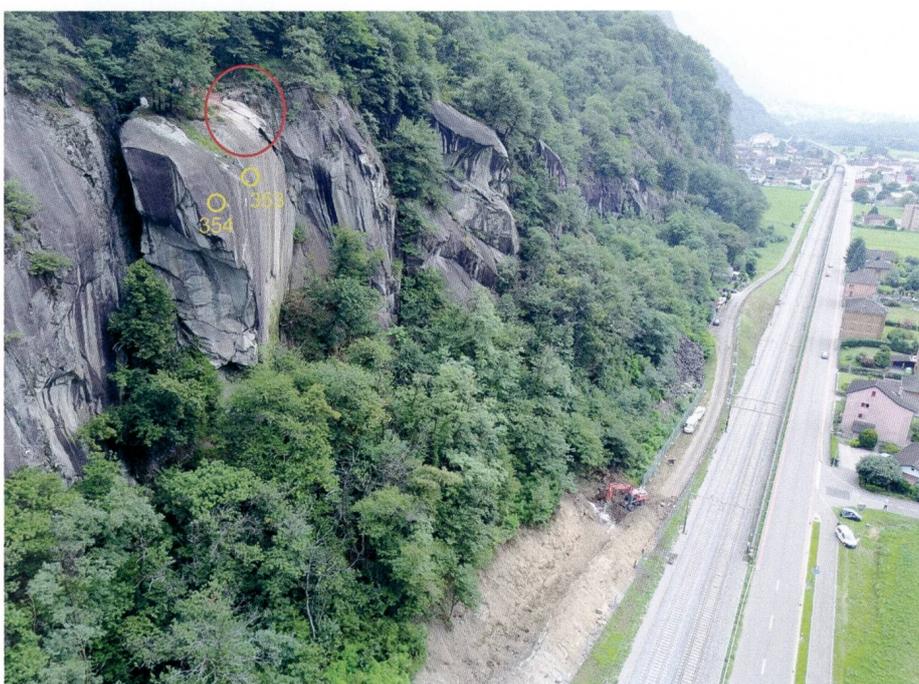


Fig. 2: Foto aus der Luft in Richtung S mit dem Felsband und der SBB-Linie (rechts). Das massige, labile Felskompartiment (links) von rund 20' - 30'000 m³ mit den instabilen Felsplatten im Kopfbereich (roter Kreis) ist im Norden durch eine weit offene Kluft vom stabilen Felsverband abgetrennt. Vorne am grossen Felspaket sind die beiden Messpunkte Nr. 353 und Nr. 354 für die tachymetrische Felsüberwachung montiert (gelbe Kreise). Das Foto wurde während den Vorbereitungsarbeiten zur Sprengung gemacht.

3 Weitere Schritte

3.1 Detailaufnahmen vor Ort

Die Detailaufnahmen vor Ort ergaben, dass die Handmessstelle Nr. 712 streng genommen nicht die Bewegung des grossen, massigen Felskompartimentes von rund 20'000-30'000 m³ erfasst, sondern nur diejenigen der

erwähnten kleineren Gneisplatten, welche im Kopfbereich des Kompartimentes steil aufgestapelt sind (Fig. 3). Diese Platten waren vom Gebirgsverband losgelöst und lagen auf einer z.T. über 60° steilen Auflagefläche. Der Rückhalt der Platten erfolgt mittels Reibung auf dem unterliegenden Gneis und mittels einer



Fig. 3: Detailaufnahme der instabilen Felsplatten (nach Entfernung der Lockergesteinsüberdeckung): Die roten Pfeile zeigen die Lage der offenen Hauptkluft im Süden des grossen massigen Felskompartimentes (links). Die blauen Kreise weisen auf die Lage und Nummern der Telejointmeter (TJM) hin. Mit den Sternen sind die vier wichtigsten instabilen Felsplatten bezeichnet.

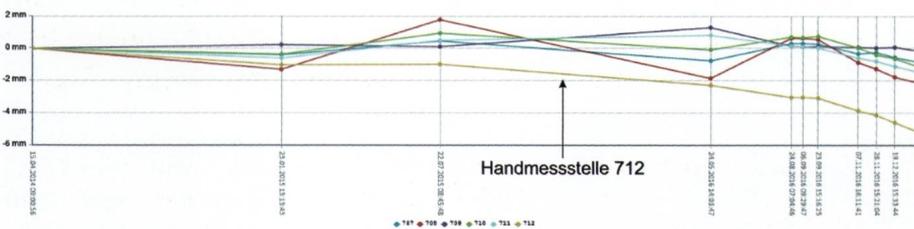


Fig. 4: Die Ganglinie der Handmessstelle Nr. 712 - an der Hauptkluft zwischen dem stabilen Felsverband und den labilen Felsplatten angebracht - zeigt eine leicht beschleunigende Deformationstendenz.



Fig. 5: Die Ganglinien der tachymetrischen Messpunkte Nr. 353 und Nr. 354 (unten) weisen auf eine talwärts gerichtete Bewegung des grossen Felskomplexes in den letzten drei Jahren von rund 3 mm hin.

Verkeilung der Blöcke unter sich. Die Untersuchungen vor Ort ergaben, dass es sich dabei um vier grössere Felsplatten mit je einem Volumen zwischen 10 und 50 m³ sowie um mehrere kleinere, ca. einen Kubikmeter grosse Felsblöcke handelte (Fig. 3). Das Gesamtvolumen der instabilen Felsmasse wurde auf rund 120 m³ geschätzt.

3.2 Verfeinerung der Messüberwachung

Die Messdaten sowie die Beurteilung durch den Geologen veranlasste die SBB, im Dezember 2016 zusätzlich vier automatische Telejointmeter (TJM) zu installieren. Mit diesen TJM wollte man besser aufgelöste und differenziertere Messdaten über die Bewegungen an den einzelnen Platten erfassen (Lage vgl. Fig. 3). Die beiden TJM 1 und 2 sollten dabei die differenziellen Bewegungen der zuoberst aufliegenden Felsplatte gegenüber dem stabilen Felsverband messen (Fig. 6). Die beiden TJM 3 und 4 wurden an unterliegenden Platten angebracht. Diese sollten relative Bewegungen der Platten in Bezug auf den darunter liegenden Gebirgskörper erfassen. Mit dem TJM 4 wurde zum Beispiel die relative Bewegung zwischen Felsplatte und Felsuntergrund über eine Wegverkürzung gemessen (Kompression). Ein weiteres Ziel der verfeinerten Instrumen-



Fig. 6: Die beiden oberen Telejointmeter TJM 1 und TJM 2 sind zwischen dem stabilen Felsverband (links) und der obersten, labilen Felsplatte (rechts) angebracht.

tierung war das frühzeitige Erkennen von sich beschleunigenden Bewegungen der instabilen Felsplatten vor einem möglichen Absturz. Dazu wurden für alle TJM spezifische Warn- und Alarmwerte definiert.

Die Messresultate zwischen Dezember 2016 und Mai 2017 von TJM 1 und TJM 2 zeigten in erster Linie natürliche Deformationen, bedingt durch Saison- und Tagesschwankungen der Temperatur (Fig. 7). Die Messresultate der beiden unteren TJM 3 und TJM 4 wiesen auf geringe Bewegungen hin.

3.3 Stabilitäts- und Gefährdungsbeurteilung

Die Stabilitätsreserven der verschiedenen Felsplatten wurden generell als kritisch beurteilt. Das wahrscheinlichste Szenario war das Aufbrechen der unter Spannung stehenden Platten. Dies hätte zu einem kaskadenartigen Zusammenbrechen des Plattenstapels und zum Absturz der gesamten instabilen Felsmasse geführt. Die Felsbewegungen wurden vom Geologen als irreversibel beurteilt. Das belegten auch die über mehrere Jahre erhobenen Messdaten. Die Felsbewegungen hätten zur Folge gehabt, dass sich die Stabilitätsreserven in Zukunft noch weiter verringert hätten und es kurz- bis mittelfristig zum Absturz der gesamten Felsmasse gekommen wäre.

Auf Grund der Blockgrössen und des Pauschalgefälles von rund 47° musste davon ausgegangen werden, dass bei einem Felsabbruch die SBB-Linie direkt getroffen würde. Diese Annahmen wurden mit Sturzmodellierungen bestätigt.

Die Risikoanalyse ergab, dass Dank den provisorischen organisatorischen Massnahmen mit Felsüberwachung und Sicherheitskonzept der Grenzwert von 10⁻⁵ für das individuelle Todesfallrisiko nicht überschritten wurde. Ein unkontrollierter Felsabbruch hätte jedoch grosse Schäden an der Bahninfrastruktur verursacht und damit die Verfügbar-

keit der Nord-Süd-Achse empfindlich getroffen. Ein länger andauernder Streckenunterbruch zu diesem Zeitpunkt hätte für die SBB einen Schaden in Millionenhöhe bedeutet. Auf Grund der Gefahren- und Risikobeurteilung des Geologen entschied die SBB nach einer groben Massnahmeevaluation, die instabile Felspartie wegzusprenge und gleichzeitig die Bahnlinie mit einem provisorischen Schutzdamm zu schützen.

Während den Vorbereitungsarbeiten zu dieser Sicherungsmassnahme kam es zu einer markanten Erhöhung der Bewegungsgeschwindigkeiten bei den einzelnen TJM (Fig. 7). Die Ursache dafür lag in sehr grossen Niederschlägen, welche sich in der Region im Zeitraum zwischen 25. und 28. Juni 2017 ereigneten (rund 150 mm Regen innerhalb von nur drei Tagen). Am deutlichsten sichtbar war dies beim TJM 3, der die Bewegung der grössten Felsplatte zum darunterliegenden Felskomplex erfasste. Eine eindeutige, wenn auch geringere Reaktion auf die Niederschläge zeigten auch die beiden oberen TJM 1 und 2 im Kopfbereich des Felsgebietes. Diese signifikante Veränderung des Bewegungsmusters bestätigte somit die vorgenommene Stabilitäts- und Gefährdungsbeurteilung.

4 Sprengtechnischer Abtrag

4.1 Vorbereitung

Die Sprengvorbereitungen wurden im Monat Juli 2017 vorgenommen. Im Wesentlichen handelte es sich um folgende Arbeiten:

- Fortführung des online Monitoring mit TJM, gekoppelt an ein Alarmdispositiv inkl. Webcam und Sirene für die Arbeiten am Fels (Bohrungen etc.).
- Ergänzung des Messdispositivs mit weiteren Handmessstellen und Messiegel im Bereich der Sprengstelle. Beide dienen zur Arbeitssicherheit während den Bauarbeiten und später als Kontrolle für neue mögliche Felsbewegungen, ausgelöst durch die Sprengung.
- Erstellung eines 55 m langen und rund 5 m hohen provisorischen Schutzdammes am Hangfuss.
- Bohren und Laden von 65 Bohrlöchern mit einer Länge von 0.5 bis 1.6 m mit total 8 kg Sprengstoff.
- Anbringen von «Sprengstoff-Unterleger» unter die drei grössten Felsplatten (total 3.2 kg Sprengstoff).

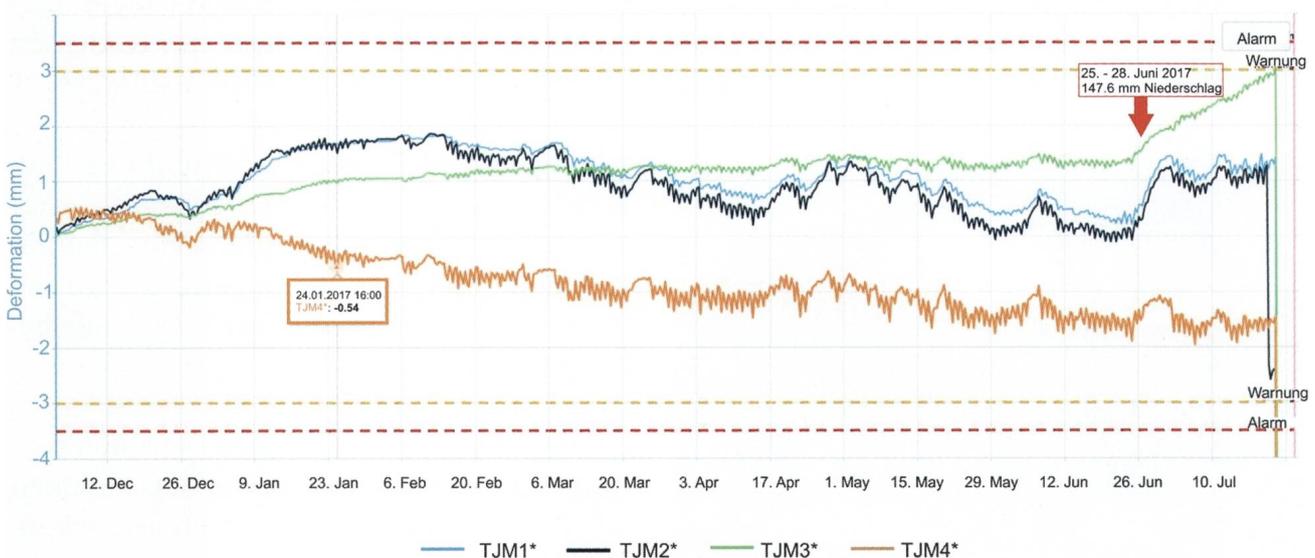


Fig. 7: Die Ganglinien der vier Telejointmeter TJM 1 bis TJM 4: TJM 1 (blau) und TJM 2 (schwarz) zeigen vom Dezember 2016 bis Juni 2017 die bekannten, Temperatur bedingten Tages- und Saisonschwankungen. Bei TJM 3 (grün) und TJM 4 (orange) waren vorerst nur geringe Bewegungen zu erkennen. Nach grossen Niederschlagsmengen Ende Juni 2017 kam es vor allem bei TJM 3 und untergeordnet auch bei TJM 1 und TJM 2 zu einer signifikanten Erhöhung der Bewegungsgeschwindigkeiten.

- Verlegen eines Maccaferri-Netzes über die Sprengstelle als Splitterschutz für die umliegenden Gebäude und die Bahninfrastruktur.
- Montage von provisorischen Steinschlag-schutznetzen an Bäumen im Transitbereich.

4.2 Sprengung

Die Sprengung erfolgte am Sonntag, 23. Juli 2017 morgens um 5.15 Uhr während einer geplanten Zugspause. Zum Zeitpunkt der Sprengung waren die umliegenden Wohnhäuser evakuiert und die umliegenden Verkehrswege gesperrt.

Die Sprengung verlief erfolgreich. Das abgetragene Felsmaterial blieb vorwiegend im Transitbereich liegen oder wurde vom Damm zurückgehalten. Nur ganz vereinzelte Splitter gelangten über den Damm hinaus. Nach der Sprengung wurde eine eingehende Felsreinigung durchgeführt (Fig. 8 und 9). Die SBB-Linie konnte ohne Einschränkungen für den Zugverkehr rund 30 Minuten nach der Sprengung wieder freigegeben werden.

Ein kleiner, hinterklüfteter Felsfeiler bergseitig der gesprengten Felsplatten wurde mit Felsnägeln fixiert (Fig. 10). Auch wenn dort keine sprengbedingten Deformationen festgestellt wurden, wollte man damit einer späteren Felsinstabilität vorbeugen.



Fig. 8: Unmittelbar nach der Sprengung vom 23. Juli 2017 am frühen Morgen erfolgte die Felsreinigung. Rechts im Bild die SBB-Linie.

5 Schlussfolgerung

Das Beispiel der Felsinstabilität nahe von Cresciano zeigt, wie man mit einer gezielten und durch Fachleute betreuten Felsüberwachung präventiv einem möglichen Sturzeignis – im Sinne des Wortes – zuvorkommen bzw. einen Schadenfall wie in diesem Fall einen Streckenunterbruch verhindern kann.

Geeignete Felsüberwachungen ermöglichen die Früherkennung von relevanten Felsbewegungen und erlauben, entsprechende Massnahmen rechtzeitig in die Wege zu leiten. Gerade bei grösseren Felskompartimenten, welche mit den heutigen technischen



Fig. 9: Blick aus der Luft auf die Sprengstelle (roter Kreis), die Sturzbahn und den provisorischen Schutzdamm. Im Schutzdamm liegen einzelne grössere Sturzblöcke.



Fig. 10: Blick auf die Sprengstelle nach der Felsreinigung und auf den mit Felsnägeln gesicherten Felspfeiler rechts davon.

Schutzmassnahmen nicht zurückgehalten werden können, sind organisatorische Massnahmen wie ein umfassendes Monitoring ein geeignetes Mittel, um Risiken effizient zu reduzieren. Im Zug der Digitalisierung werden heute von der SBB immer mehr neueste technische Mittel für die Überwachung von Naturgefahren eingesetzt. Das Fernziel ist ein automatisiertes online Monitoring aller risikorelevanten Gefahrenstellen, hinterlegt mit Warn- und Alarmwerten. Diese Entwicklung hat unter dem Begriff der industrialisierten Überwachung in vielen Bereichen der Industrie oder der SBB (wie zum Beispiel bei der Fahrbahn) bereits eingesetzt. Wir sind überzeugt, dass dank dieser Entwicklung das Naturgefahren- und Risikomanagement in der Zukunft noch präziser und effizienter wird.

Literatur

- Gruner, U. & Utelli, H.H. 2016: Multiples Früherkennungssystem an Felswänden oberhalb einer Eisenbahnstrecke im Berner Oberland, Schweiz. In: Koboltschnig, G., Kienholz, H., Laigle, D., Mikos, M., Rudolf-Mikla, F. & Stoffel, M. (eds): Proceedings of the 13th Congress INTERPRAEVENT 2016, 30 May-2 June 2016. Lucerne, Switzerland, 553-560.
- Wegmüller, U., Strozzi, T., Gruner, U., Gisler, Ch. & Hauser, M. 2013: Verschiebungsmessungen mittels Satellitenradar im Urner Reusstal oberhalb der Nord-Süd-Verkehrsachse im Zeitraum 1992-2010. Swiss Bulletin für angewandte Geologie, Vol. 18/2, 139-153.