



strasse und verkehr

route et trafic

3 / 2009



**Umgang mit Naturgefahren auf dem Nationalstrassennetz
Felssprengung über Galerie der A13 stellt Verkehrsbetrieb sicher
Agglomeration Bern: Lösung für die Engpassbeseitigung**

**Approche des dangers naturels sur le réseau des routes nationales
Minage de rochers au-dessus d'une galerie de l'A13
Agglomération de Berne: solution pour éliminer un goulet des routes**

Felssprengung über Galerie der A13 stellt Verkehrsbetrieb sicher

Ende Mai des vergangenen Jahres wurde oberhalb der Galerie Cozz der Nationalstrasse A13 bei Pian San Giacomo ein mittelfristig absturzgefährdeter Felsturm mit einer Grosssprengung entfernt. Die Galerie lag im direkten Transit- und Ablagerungsbereich der Sturzmasse, womit die Gefahr einer Beschädigung oder gar Zerstörung der Galerie durch die Sprengung bestand. Hohe Fachkompetenz und eine ausgezeichnete Teamarbeit der Geologen, Ingenieure, Sprengexperten sowie der Polizei waren die Voraussetzungen, um das Projekt erfolgreich zur grossen Explosion zu führen.

Von **Christoph Nänni, Paul Buol und Ruedi Krähenbühl** *

In den Jahren 2002 bis 2005 wurden im Auftrag des Bundesamtes für Strassen ASTRA und unter der Leitung des Tiefbauamtes Graubünden, alle Galerien und Tunnelportale entlang der Nationalstrasse A 13 hinsichtlich Naturgefahren systematisch untersucht. Dabei entdeckten die Geologen bei Pian San Giacomo, rund 200 m bergseits des Überganges vom Tunnel Brusei in die Lawinen- und Steinschlaggalerie Cozz, einen zerrütteten, teilweise überhängenden Felsturm [1]. Bis 25 m tiefe und 2 m breite, vertikale Spalten durchtrennten die Gneise und Schiefer (Abb. 1 und 2). Deformationsmessungen mit Extensometern ergaben, dass ein ~1500 m³ grosser, überhängender Felsturm sich auf einer stark verschieften Felsunterlage jährlich um einige Millimeter talwärts bewegte (Abb. 3 und 4). Der Absturz der Felsmasse war aufgrund der geologischen Gefahrenanalyse in den nächsten Jahrzehnten zu erwarten.

Dabei würden Sturzblöcke von >100 m³ das Dach der Galerie Cozz durchschlagen, diese teilweise zerstören und den Verkehr für Monate unterbrechen. Mit dem Ziel, das Tunnelportal und die Galerie vor Felsstürzen einer Wiederkehrdauer bis 100 Jahre zu schützen, wurden in der Folge Massnahmevarianten ausgearbeitet.

Massnahmevarianten zur Beseitigung der Felssturzgefahr

Detaillierte geologische Untersuchungen bildeten die Grundlage für das geotechnische Variantenstudium der Schutzmassnahmen. Die Grundlagen umfassten nebst detaillierten geologischen Karten und Geländeprofilen, eine ausführliche strukturgeologische Analyse im Fels



* Christoph Naenni



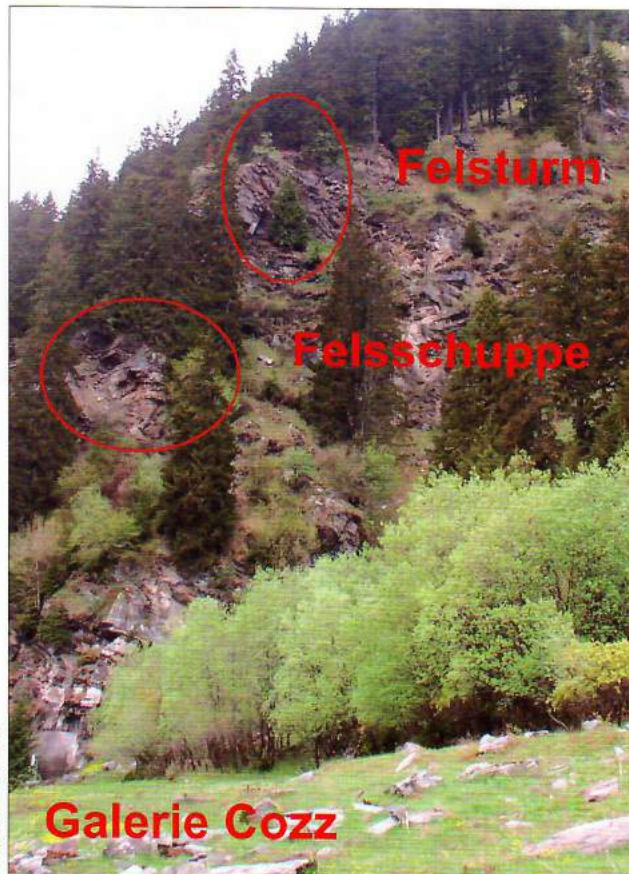
* Paul Buol



* Ruedi Krähenbühl

Minage de rochers au-dessus d'une galerie de l'A13 pour sécuriser le trafic

A fin mai de l'année dernière, un promontoire rocheux menaçant de se détacher à moyen terme a été éliminé par un important minage au-dessus de la galerie de Cozz sur la route nationale A13 près de Pian San Giacomo. Cette galerie se trouvait directement dans l'aire de passage et de dépôt de la masse d'éboulis. Il y avait donc danger d'endommagement voire de destruction de la galerie suite au minage. De grandes compétences techniques et un excellent travail d'équipe entre géologues, ingénieurs, experts en explosifs et police étaient les conditions préalables pour mener avec succès ce projet de grosse explosion.



Tiefbauamt Graubünden

1: Vom Dach der Galerie Cozz aus ist die Felssturzgefahr nicht offensichtlich. Erst 2003 orteten die Geologen im Wald über der Galerie weit offene Felsspalten.

1: Depuis le toit de la galerie de Cozz, le danger d'éboulement n'est pas évident. C'est en 2003 seulement que les géologues découvrirent des failles grandes ouvertes dans la forêt au-dessus de la galerie.

sowie ein kinematisches Felsmodell mit der Entwicklungsprognose der Felsbewegungen. Die Sturzbahnen sowie die zu erwartenden Energien wurden mittels Geländeanalyse und Sturzbahnsimulationen [2] abgeschätzt (Abb. 5). In einer ersten Projektphase wurden durch den Projekt-Ingenieur folgende Varianten [3] verglichen:

- Grosssprengung
- Felsunterfangung
- permanente Rückverankerung

Alle Varianten wurden hinsichtlich Wirksamkeit, Risiken/Nachhaltigkeit, Ästhetik, Gestehungs- und Unterhaltskosten bezogen auf eine Nutzungsdauer von 100 Jahren miteinander verglichen. Für die Sprengvariante wurde bereits in dieser Phase ein Sprengspezialist beigezogen. Der Entscheid fiel deutlich zugunsten der Grosssprengung, welche hinsichtlich langfristigem Unterhalt, Nachhaltigkeit, Sicherheit und Kosten den anderen Varianten überlegen war.

Planung der Grosssprengung

Der Umfang der Sprengmasse wurde aufgrund des Zerrüttungsgrades, der Spalten- und der Trennflächenlagen des Fels bestimmt. Im Transitbereich des Felsturms lag eine zweite, mittelfristig absturzgefährdete Felsschuppe von zusätzlich ~1800 m³, die bei einem Absturz die Galerie nur seitlich gestreift hätte und somit nicht zwingend

entfernt werden musste. Allerdings zeigte sich, dass diese Felsschuppe von der Sprengmasse des Felsturmes voll getroffen worden wäre und Teile davon unkontrolliert abgestürzt wären. Daher wurde entschieden, diese ebenfalls zu sprengen, womit gleichzeitig die Sturzbahn des Felsturmes von der Galerie weg gelenkt werden konnte. Ein Bohrraster von 2 x 2 m bildete die Grundlage für die geforderte Stückigkeit von maximal 3,5 m³. Grössere Blöcke wären für die Galerie trotz der geplanten temporären Schutzmassnahmen gefährlich gewesen. Durch eine gezielte Ausrichtung der Bohrungen sowie durch verzögerte Zündungen wurde die Wurfrichtung der Sprengung optimiert. Aus Sicherheitsgründen musste die Zündung bei den Grossbohrlöchern redundant am Bohrlochtiefstpunkt und Bohrlochmund erfolgen. Das Sprengkonzept [4] wurde vor der Sprengung durch zwei unabhängige Sprengfachmänner überprüft.

Hohe Erfolgchancen bei kleinem Risiko durch Know-how in Teamarbeit

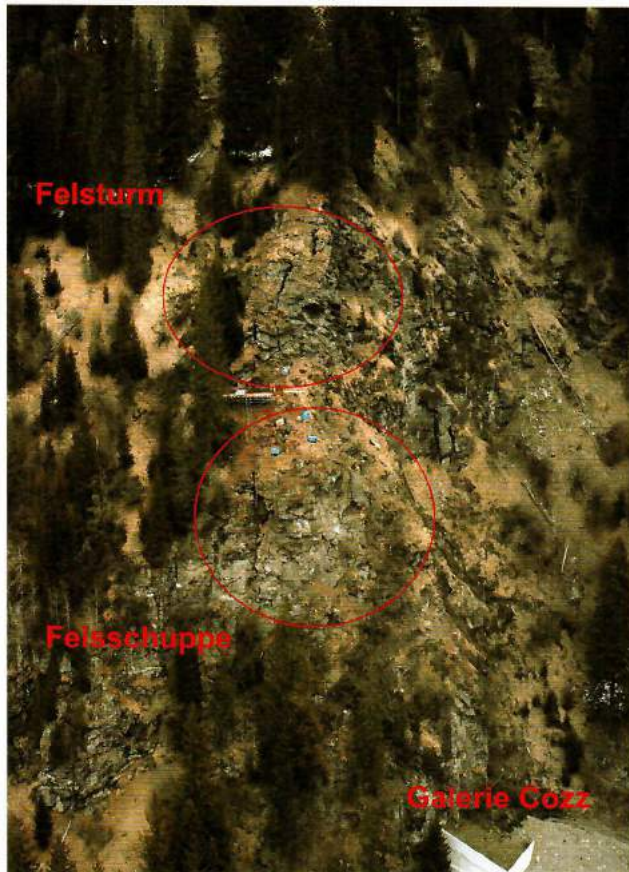
Eine missglückte Sprengung konnte grosse Schadenauswirkung haben. Eine zerstörte Galerie hätte die Sperrung der A13 von mehreren Monaten zur Folge gehabt. Auch



Tiefbauamt Graubünden

2: Bis 25 m tiefe, vertikale Felsspalten durchtrennen das Gebirge. Messung der Felsbewegungen erfolgte mittels Extensometer.

2: Des failles verticales atteignant 25 m de profondeur coupent la montagne. Le mouvement des rochers a été mesuré par des extensomètres.



hätten verbleibende bzw. neu entstandene Felsinstabilitäten zeitaufwändige Nachsprengungen erforderlich gemacht. Die gewissenhafte Projektarbeit unter Beizug hoher Fachkompetenz erhöhte zwar die Wahrscheinlichkeit für das Gelingen der Sprengung, gab jedoch noch keine Erfolgsgarantie ab. Vom Projektgenieur wurden daher sämtliche möglichen Szenarien für den Projektverlauf vor und während der Sprengung studiert [5]. Die Folgen aller Szenarien wurden abgeschätzt und erforderliche Gegenmassnahmen dazu ausgearbeitet (Abb. 6).

Bereits kurz nach dem Variantenentscheid wurden sämtliche beteiligten Fachleute in die Planung einbezogen. Unter der Gesamtleitung des TBA GR waren dies Geologen, Bauingenieure, Sprengspezialisten, die Polizei, Verkehrstechniker sowie die nationale Verkehrsleitstelle. Mit einem Workshop zu Beginn der Zusammenarbeit sowie mit periodischen Projektsitzungen gelangte das anspruchsvolle Projekt innerhalb von vier Monaten zur Ausführungsreife.

Vorbereitung zur Sprengung

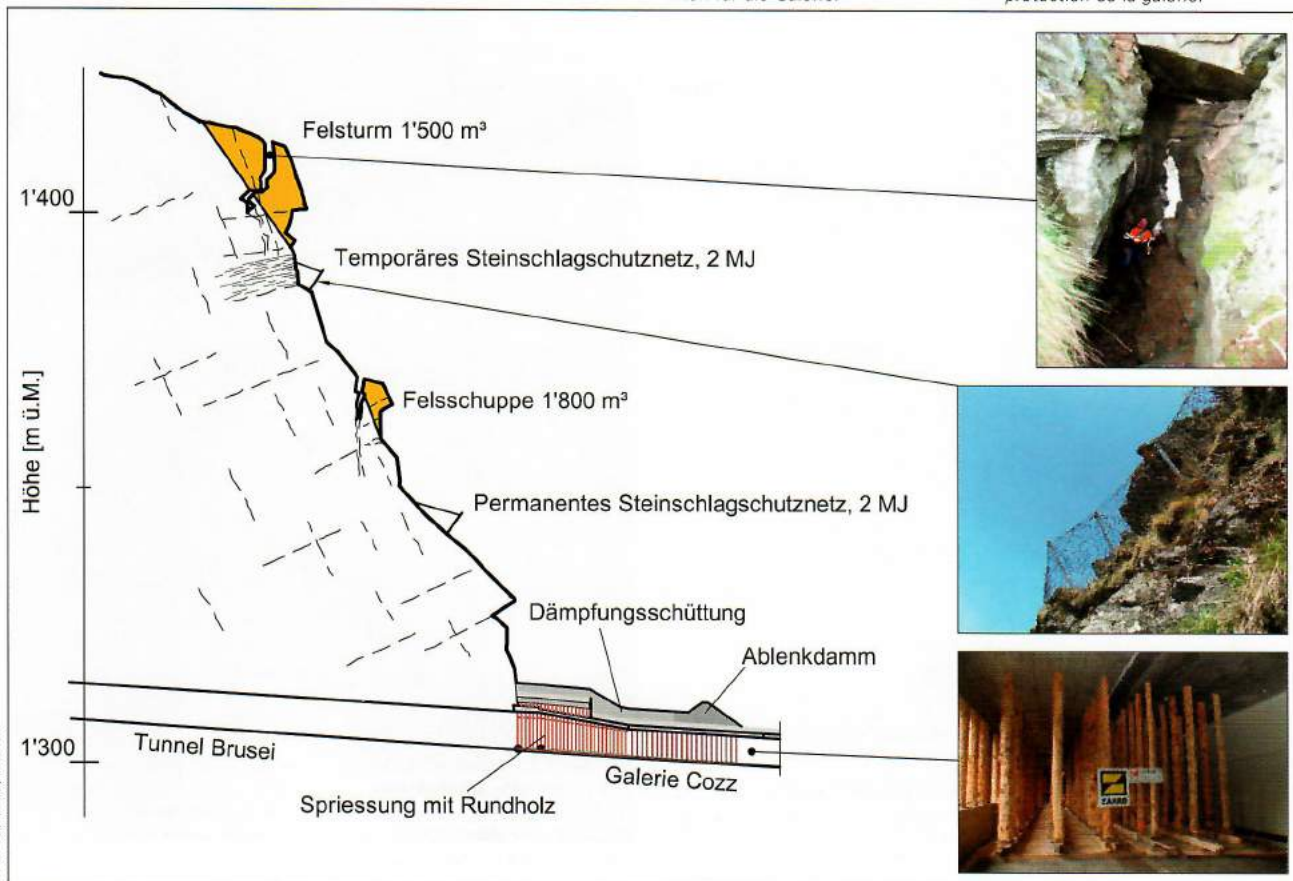
Nach der vollständigen Waldrodung des unmittelbaren Sprengbereiches wurde am 23. April mit den Sprengbohrungen begonnen (Abb. 8). 770 Laufmeter, resp. 85 grosskalibrige Bohrungen, Ø 76 mm, wurden in meist steilem, schwierigem Gelände abgetieft. Die gesamte Lademenge betrug 650 kg Sprengstoff. Exponierte Blockstapel wurden mit 130 Laufmeter kleinkalibrigen Sprengbohrungen,

3: Nach der Waldrodung sind die Felsspalten beim Felsturm oben und einer mächtigen Felschuppe weiter unten gut erkennbar.

3: Après défrichage de la forêt, les failles près du piton en haut et d'une grosse bosse rocheuse plus bas sont facilement reconnaissables.

4: Der Geländeschnitt zeigt den Felsturm oben, die Felschuppe unten, sowie die Schutzmassnahmen für die Galerie.

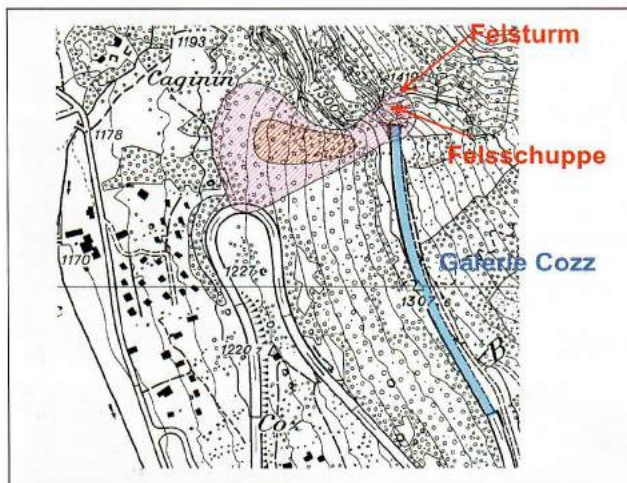
4: La coupe du terrain montre le piton rocheux en haut et la bosse en bas ainsi que les mesures de protection de la galerie.



Ø 34 mm, versehen. Die Bohrarbeiten dauerten bis am 20. Mai. Der Bohrbefund wurde geologisch ausgewertet. Dabei zeigte sich, dass im Bereich des Felsturmes eine um ~¼ grössere Masse als ursprünglich vorgesehen gesprengt werden musste. Gegen allfällige, durch die Vorbereitungsarbeiten ausgelöste Blockschläge, wurde über der Galerie ein temporäres Steinschlagschutznetz mit einem Energieaufnahmevermögen von 2 MJ installiert.

Felsüberwachung

Ein plötzlicher Kollaps des gesamten Felsturms wurde aufgrund der geologischen Situation und der gemessenen schwachen Felsbewegungen als höchst unwahrscheinlich beurteilt. Erfahrungsgemäss sind die Erschütterungen in grossen Felsmassen gering und haben kaum negative Auswirkungen auf deren Stabilität. Angesichts der starken Felszerlegung und verschachtelter Blocktürme war jedoch während der Vorbereitungsarbeiten ein Ausbrechen mehrerer Grossblöcke nicht auszuschliessen. Die Galerie, der Strassenverkehr und die Bauarbeiter konnten dadurch gefährdet werden. Das Überwachungskonzept [6] richtete sich primär auf dieses Gefahrenbild aus. So wurden ausgewählte Klüfte mittels Mörtelsiegel sowie einfacher Messschienen beobachtet. Bewegungen im Millimeterbereich konnten mit diesen Messmethoden zuverlässig festgestellt werden. Die periodische Kontrolle und Protokollierung erfolgte durch die Sprengfirma. Um allfällige für die Galerie gefährliche Felsbewegungen laufend feststellen zu können wurden in den Spalten beider Felsmassen zusätzlich fünf elektronisch auslesbare Extensometer eingebaut. Die Messungen erfolgten alle 10 Minuten und wurden in einem zentralen Logger automatisch gespeichert. Bei der Überschreitung definierter Grenzwerte wurde der Alarm auf der Baustelle (Sirene, Blinklicht) sowie ein SMS-Alarm für ausgewählte Projektbeteiligte automatisch ausgelöst. Mit dem Alarm wurde die A13 über eine Rotlichtanlage gesperrt. Ein detailliertes Überwachungs- und Alarmdispositiv [7] regelte die Verantwortlichkeit hinsichtlich der definierten Sofortmassnahmen.



5: Gemäss Sturzbahnsimulation liegen die Hauptablagerungsgebiete (rot) auf der Galerie und im Wald westlich darunter (Figur aus [1], Dr. H. Jäckli AG, Schwyz).

5: Selon la simulation des trajectoires de chute, les principales aires de dépôt (rouge) se situent sur la galerie et dans la forêt à l'ouest en dessous (figure tirée de [1], Dr. H. Jäckli AG, Schwyz).

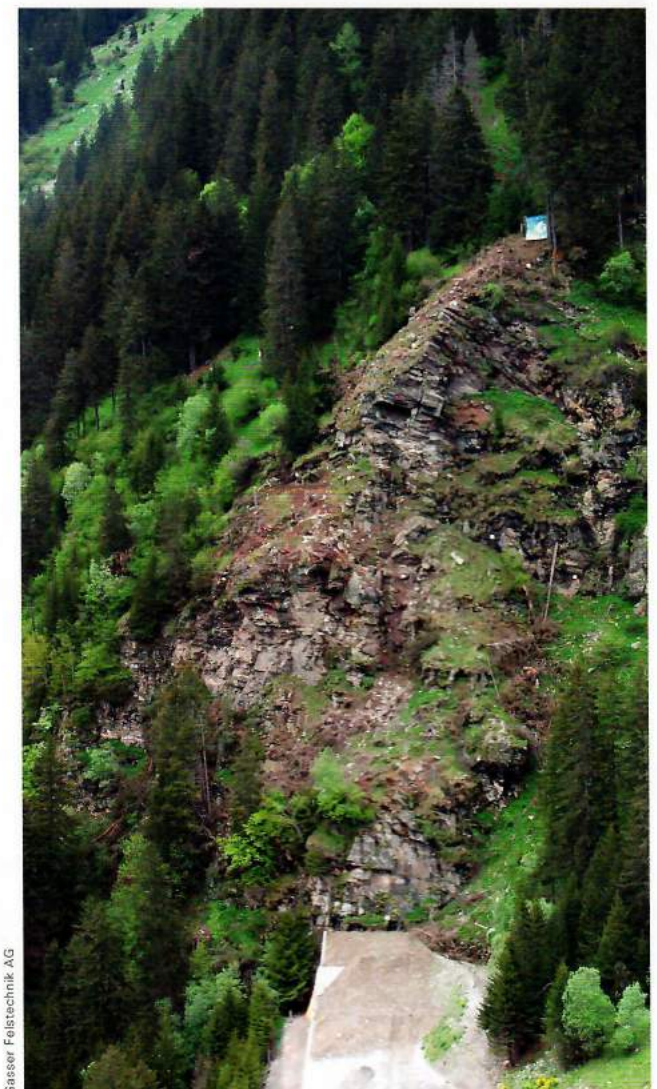
Szenario	Eintretens-Wahrscheinlichkeit	Auswirkung, Schaden
Vorbereitungsarbeiten, Bohrungen		
1 Normalverlauf ohne besondere Ereignisse	[Graph: low probability, low impact]	[Graph: low damage]
2 Absturz Einzelblock	[Graph: low probability, high impact]	[Graph: high damage]
3 Gravierende Deformationen im Bereich Sprengobjekte	[Graph: low probability, high impact]	[Graph: high damage]
4 Absturz Felsturm während Vorarbeiten	[Graph: low probability, high impact]	[Graph: high damage]
Sprengung		
5 Normalverlauf ohne Beschädigung der Galerie	[Graph: low probability, low impact]	[Graph: low damage]
6 Sprengung unvollständig, Nachsprengungen erforderlich	[Graph: low probability, high impact]	[Graph: high damage]
7 Lokale Beschädigung der Galerie, Tragfähigkeit gewährleistet	[Graph: low probability, high impact]	[Graph: high damage]
8 Örtliche Zerstörung der Galerie	[Graph: low probability, high impact]	[Graph: high damage]

6: Was kann alles schief gehen? Acht Szenarien zum Verlauf der Vorbereitungsarbeiten und der Sprengung.

6: Qu'est-ce qui peut aller de travers? Huit scénarios pour le déroulement des préparatifs et du minage.

Schutzmassnahmen für die Nationalstrasse A13 und Häuser

Die Hauptablagerungsgebiete der Sturzmasse lagen gemäss der Sturzbahnsimulation [2] auf der Galerie Cozz sowie im Wald westlich der Galerie (Abb. 5). Auf der Galerie wurden bei einem Grossblock von 3,4 m³ (Kantenlänge



7: Die Situation vor, während und nach der Sprengung.

7: La situation avant, pendant et après le minage.

1,5 m) eine Energie von maximal 5,5 MJ erwartet (Mittelwert 3 MJ). Der Maximalwert lieferte einerseits die Vorgabe für die Stückigkeit (maximal erlaubte Sturzkörpergrösse beim Felsturm), welche der Sprengmeister einzuhalten hatte, andererseits war die Galerie derart zu verstärken, dass sie die Einschlagenergie, die Auflast der temporären Schüttung und des Schuttkegels ohne nennenswerte Schäden aufnehmen konnte. Die Galerie Cozz wurde dazu auf einer Länge von 45 m, im Raster von 1x1 m, durchgehend mittels verkeilter Baumstämme, kraftschlüssig abgestützt (Abb. 4 und 8). Insgesamt wurde ein Stützenwald mit 360 Bündner Fichtenstämmen mit \varnothing 26 – 32 cm eingebaut. Die A 13 musste dazu für 2 Wochen gesperrt werden. Der PW-Verkehr wurde via Kantonsstrasse, der Schwerverkehr via Gotthard umgeleitet. Nach Einbringen der Abstützung wurde das Galeriedach zur Dämpfung der hohen Einschlagenergien zusätzlich mit losem, kiesigem Erdmaterial 2 m mächtig überschüttet. Aufgrund der Topographie war nicht auszuschliessen, dass einzelne grosse Blöcke die Nationalstrasse sowie die Ferienhäuser von Salec, bei Pian San Giacomo erreichten. Mit der Schüttung eines Erdammes von 70 m Länge zum Schutze der Häuser sowie der Schliessung der A 13 während der Sprengung wurde diese Gefahr vollständig eliminiert.

Die Sprengung

Der Tag der Sprengung wurde von der Projektleitung mit einem detaillierten Drehbuch [8] organisiert. Dieses enthielt alle Tätigkeiten von der Absperrung der Strassen und des Geländes, über das Laden der Bohrlöcher, der Installation des Zündsystems, der Kontrolle sämtlicher Schutzmassnahmen, die Lenkung Schaulustiger, der Presse und des Helikopters mit einer Filmcrew, die Auslösung der Sprengung sowie die Nachkontrollen der Sprengwand und Galerie.

Nachdem alle weidenden Schafe aus dem Gefahrenbereich vertrieben und die zunächst unauffindbaren Schafhirtinnen lokalisiert werden konnten, wurde mit leichter Zeitverzögerung gegenüber dem Drehbuch von allen Fachinstanzen grünes Licht für die Sprengung gegeben.

Mit der vorgesehenen Wurfrichtung weg von der Galerie donnerten um 13.40 Uhr vor den Augen einiger hundert Schaulustiger sowie Medienvertreter insgesamt 3300 m³ Fels ins Tal. Nur \sim 1/8 der Masse stürzte in Richtung der Galerie. Rund 160 m³ blieben auf der Galerie, nochmals \sim 320 m³ wenig bergseits davon liegen [9]. Der grosse Rest bildete unmittelbar talseits der Galerie einen Schuttkegel, welcher auf \sim 1260 m ü. M. im engen Geländeein-





Tiefbauamt Graubünden

8: Sprenglochbohrung in der unteren Felschuppe werden abgetieft. Im Vordergrund ein Extensometer der Felsüberwachung.

8: Les trous de mine dans la bosse rocheuse inférieure sont approfondis. Au premier plan, un extensomètre surveillant les mouvements de la roche.

schnitt einer alten Murgangrinne abrupt endet. Der eigentliche Schuttkegel breitete sich dadurch weniger weit aus, als aus der Sturzbahnsimulation erwartet wurde. Einige grosse Blöcke bis 6 m³ kamen etwa 40 m unterhalb der Schuttkegelzunge zum Stehen. Der Schutzdamm sowie die offene Nationalstrasse wurde nicht erreicht. Die Galerie zeigte mit Ausnahme einiger Betonabplatzungen am Rand des Galeriedaches keinerlei Schäden. Die Erschüttungsmessungen bestätigten, dass die Galerie nicht durch die Explosion, sondern beim Einschlag grosser Blöcke die stärksten Beschleunigungen erfahren hatte. Sämtliche Messwerte lagen allerdings unter den Normvorgaben.



Tiefbauamt Graubünden

9: Die Galerie wird auf einer Länge von 45 Meter mit Rundholz gespriessst.

9: La galerie est étayée par des rondins sur une longueur de 45 mètres.



Tiefbauamt Graubünden

10: Die Galerie Cozz übersteht den Aufprall ohne nennenswerte Schäden.

10: La galerie de Cozz a résisté au choc sans dommages notables.

Unmittelbar nach der Sprengung wurde die frische Felswand händisch sowie mit einzelnen kleinen Zusatzsprengungen von losem Schutt befreit. Wie erwartet, ist aus der Felswand auch nach der Sprengung insbesondere während der Frost/Tauperioden sowie bei heftigen Regenfällen noch mit vereinzelt Stein- und Blockschlägen zu rechnen. Zum Schutz vor Direkttreffern wurde ~40 m über der Galerie das vorgesehene permanente Steinschlagnetz mit einem Energieaufnahmevermögen von 2 MJ installiert.

Bereits eine Woche nach der Sprengung wurde die, um eine Gefahrenstelle ärmere Nationalstrasse den meist ahnungslosen Verkehrsteilnehmern wieder übergeben. ■

Literatur

- [1] Dr. Heinrich Jäckli AG Schwyz, Nationalstrasse A13, Misox, Tunnel Brusei, Beurteilung Felssturzgefahr am Südportal, Geologischer Bericht, 14.9.2005.
- [2] Dr. Heinrich Jäckli AG Schwyz, Nationalstrasse A13, Misox, Tunnel Brusei, Portal Süd, Beurteilung Sanierungsvarianten, Geologischer Bericht, 14.7.2006.
- [3] DIAG Davoser Ingenieure AG, Tunnelportal Brusei Süd, Steinschlagnetz, Variantenstudie, 31.8.2006.
- [4] Gasser Felstechnik AG, Lungern, Tunnel Brusei, Felssturzgefahr am Südportal, Grosssprengung, Sprengkonzept, 2.5.2008.
- [5] DIAG Davoser Ingenieure AG, Tunnelportal Brusei Süd, Grosssprengung Felstürme C und E, Bericht Szenarien und Verlauf Sprengung, 28.1.2008.
- [6] BauGrundRisk GmbH, Chur, Dr. R. Krähenbühl, Grosssprengung Brusei, Konzept Felsüberwachung, Bericht 080334-1, 5.4.2008.
- [7] TBA GR, Strassenbaulabor/DIAG Davoser Ingenieure AG, Kontroll- und Überwachungsplan Felsprengung Brusei Süd, 24.4.2008.
- [8] DIAG Davoser Ingenieure AG, Tunnelportal Brusei Süd, Grosssprengung Felstürme C und E, Drehbuch für Sprengung, 20.5.2008.
- [9] ETH Zürich, Engineering Geology; National Highway A13c, Rockfall Protection Tunnel Portal, Brusei; Volume Calculation of Rock Blasting at Brusei using LIDAR, 7.7.2008.