Bergsturz Cengalo und Murgänge Bondo: Erfahrungen der kantonalen Fachstelle

Christian Wilhelm, Gian Cla Feuerstein, Andreas Huwiler und Roderick Kühne

Amt für Wald und Naturgefahren, Kanton Graubünden, Loestr. 14/16, CH-7000 Chur, christian.wilhelm@awn.gr.ch

Vom 23. bis 31. August 2017 traten vom Pizzo Cengalo bis nach Bondo in einer aussergewöhnlichen Ereignisabfolge ein Bergsturz, ein Schuttstrom und mehr als zehn Murgänge auf. Bei diesem historischen Ereignis ging der Bergsturz von gut drei Millionen Kubikmeter unmittelbar in einen Schuttstrom über, was bisher weltweit ausserordentlich selten beobachtet wurde. Seit dem Bergsturz werden acht Personen auf einem Bergwanderweg vermisst. Der Schuttstrom und die Murgänge haben insgesamt 500 000 Kubikmeter Schuttmaterial bis nach Bondo geführt. Im vorliegenden Artikel werden Erfahrungen aus Sicht der kantonalen Fachstelle zu Monitoring, Entscheidungsgrundlagen, Gefahrenbeurteilung und Sofortmassnahmen sowie zur Räumung und Wiederinstandstellung geschildert. Im Zentrum steht dabei die Ereignisbewältigung, die nur mit ausserordentlicher Teamleistung zu bewerkstelligen war, sowohl im Bereich Naturgefahren als auch gesamthaft. Die vielfältigen Herausforderungen zeigen, dass das Geschehene durchaus als «Umgang mit Extremereignissen» einzuordnen ist. Abschliessend werden neue Fragen zu den Ursachen des Ereignisses und deren Verkettungen im Hinblick auf mögliche Entwicklungen und Lösungen aufgelistet.

1 Ereigniskontext und Vorgeschichte

1.1 Lokalisierung und Nutzungen

Die Naturereignisse Cengalo–Bondo traten vom Pizzo Cengalo in die Val Bondasca und bis hinunter nach Bondo auf. Die Val Bondasca ist ein Seitental des Bergells. In Abbildung 1 sind nur die wesentlichen Erschliessungen aufgeführt, es gibt noch zahlreiche weitere Verbindungen und Übergänge. Der Kanton Graubünden hat ein sehr grosses Netz mit Bergwanderwegen von rund 10 000 km Länge.

Die Val Bondasca wird im Sommer alpwirtschaftlich genutzt; im Talboden befinden sich einige Maiensässsiedlungen. Zwei SAC-Hütten bieten gute Ausgangspunkte für Berg- und Klettertouren. Das Tal hat einen alpinen Charakter, nach den letzten Parkplätzen befindet man sich unmittelbar im Hochgebirge. Im Winter ist die Val Bondasca nicht bewohnt, entsprechend wird die Zufahrtsstrasse auch nicht geräumt.

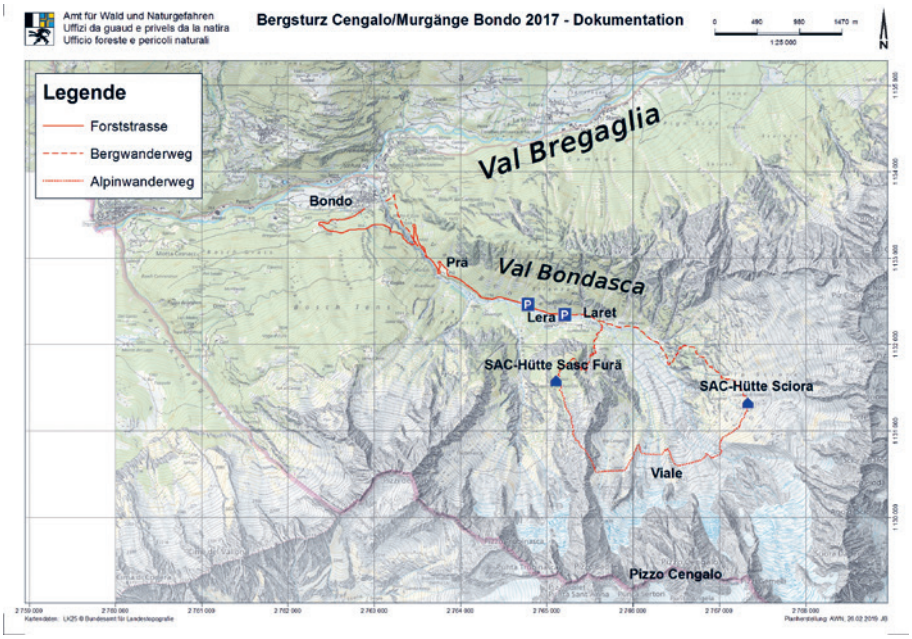


Abb. 1. Lokalisierung der Naturereignisse Pizzo Cengalo – Bondo. Ausschnitt aus der Landeskarte, nicht massstabgetreu. Rot ausgezogen ist die Forststrasse bis Lera, gestrichelt sind die Hüttenzustiege zur Sciora- und Sasc Furä-Hütte und gepunktet der Alpinweg, Viale, der die beiden Hütten bis 2011 verbunden hat (Abb.: AWN).

1.2 Sturzereignisse am Cengalo ab 2011

Die Nordwand des Pizzo Cengalo ist bei Bergsteigerinnen und -steigern sowie Kletternden schon seit jeher als steinschlaggefährdet bekannt. Im Sommer 2011 nahm die Sturzaktivität aus der Nordwand stark zu, worauf das Gebiet ein erstes Mal durch einen Geologen beurteilt wurde. Der Alpinwanderweg «Viale», der die beiden SAC-Hütten verbindet, wurde umgehend gesperrt. Am 27. Dezember 2011 ereigneten sich zwei grosse Felsstürze gefolgt von einem Bergsturz. Dabei stürzten insgesamt rund 1,5 Mio. m^3 Felsmaterial ab. Der Bergsturz erodierte beim Aufprall Gletschereis, kam im hinteren Val Bondasca zum Stillstand und erreichte die Hüttenzustiege nicht. Im Ausbruchgebiet, insbesondere an der hinteren Abrissfläche, wurde nach dem Bergsturz von 2011 Eis gesichtet, das vor dem Abbruch in den Klüften war (Abb. 2). Das warf Fragen von wissenschaftlichem Interesse auf, insbesondere zu den Anbruchmechanismen von Fels- und Bergstürzen in Permafrostgebieten (Kap. 2.2).

Nach einer erneuten geologischen Beurteilung im Frühjahr 2012 kam man vorerst zum Schluss, dass mit keinen Grossereignissen mehr zu rechnen

sei. Ausser der Sperrung des Alpinwanderwegs «Viale» drängten sich in der extensiv genutzten Val Bondasca keine weiteren Massnahmen wegen Sturzgefahren auf.

1.3 Risikomanagement für Murgänge von 2012 bis 2017

Mit Starkniederschlägen im Sommer 2012 entstanden aus den Ablagerungen des Bergsturzes 2011 in der hinteren Val Bondasca Murgänge, die bis nach Bondo vorstiessen – eine Ereignisverkettung, die an andern Orten auch schon beobachtet wurde (z.B. Mani 2016). Betroffen bzw. gefährdet waren dauernd bewohntes Siedlungsgebiet und Gemeinde- sowie Kantonsinfrastrukturen. Durch die neuen Voraussetzungen waren jetzt operative Massnahmen im institutionellen Verantwortungsbereich im Sinne des integralen Risikomanagements (PLANAT 2004 und 2013) gefragt.

Die Bondasca ist langfristig betrachtet kein klassischer Murgangwildbach. Es sind aus der Vergangenheit keine Murgangereignisse bekannt. Der Talboden des Val Bondasca ist mit 8° (14 %) relativ flach, und zwischen der Val Bondasca und Bondo befindet sich eine enge, felsige Schluchtstrecke mit einer Neigung von 13° (23 %). Starker Geschiebetrieb wurde bei Starkniederschlägen als möglich erachtet und zum Beispiel bei einem grossen Ereignis 1927 auch schon beobachtet.

Die umfassende Beurteilung der Murganggefährdung in Bondo führte zu einer neuen Gefahrenkarte Wasser, die gegenüber den bisherigen Gefahrenzonen ausgedehnte Gefahrenbereiche durch Übermurung oder Übersarung infolge wahrscheinlicher Murgangablagerungen im Gerinnebett zeigte. Die Risiken waren offensichtlich und nicht tragbar. Ausgehend von der neuen Gefahrenkarte Wasser wurde ein umfassendes Schutzkonzept mit den klassischen «Instrumenten» des integralen Risikomanagements IRM ausgearbeitet und umgesetzt (Abb. 3).

Bezeichnend war, dass man den Kreislauf, oder besser die Spirale, des integralen Risikomanagements zweimal durchlief. Die Aktivitäten mit der «Bewältigung Murgang» 2012 sowie

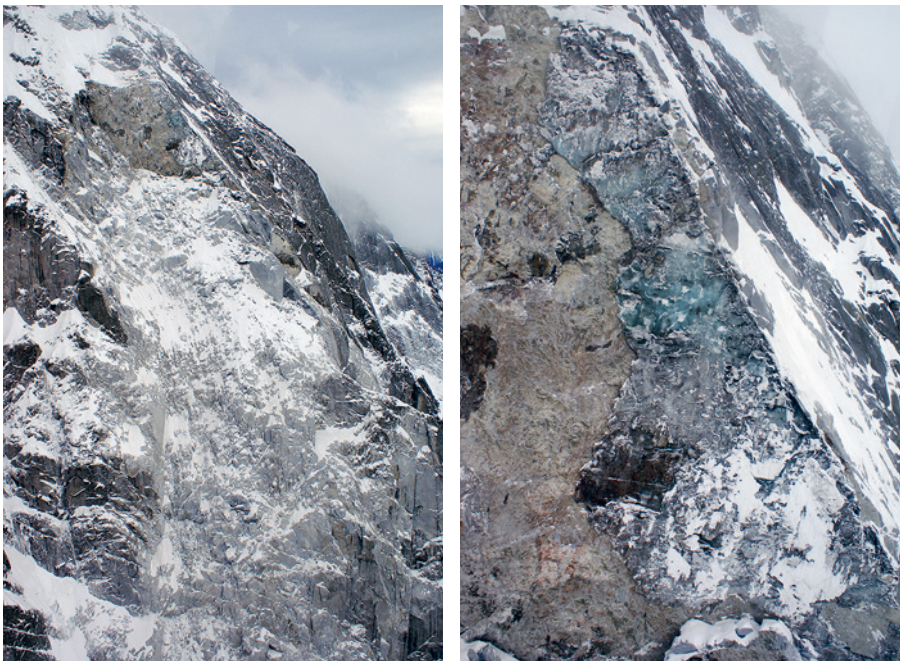


Abb. 2. Links: Ausbruchnische des Bergsturzes am Pizzo Cengalo vom 27. Dezember 2011 auf rund 3000 m ü.M. Rechts: Gut sichtbar ist an der hinteren Abrissfläche Eis, das Fragen zu den Anbruchmechanismen von Fels- und Bergstürzen aufgeworfen hat, insbesondere zur Rolle des Permafrosts (Fotos: AWN).



Abb. 3. Kreislauf des integralen Risikomanagements «Murgänge Bondo», der von 2012 bis 2017 zweimal durchlaufen wurde (vereinfachte Darstellung). Basierend auf einer neuen Gefahrenkarte wurden ein Auffangbecken gebaut, eine Murgangalarmanlage installiert, eine Notfallplanung mittels Interventionskarte erstellt und ein Frühwarndienst betrieben. Der Gefahrenzonenplan nach Massnahmen war verabschiedet und der lokale Naturgefahrenberater stand im Einsatz (Abb.: AWN).

baulichen Sofortmassnahmen, neuer Gefahrenkarte und neuem Gefahrenzonenplan 2013 verliefen plangemäss. Diskussionslos gebilligt wurde 2013 auch die Murgangalarmanlage. Zentrales Element war eine Reissleine im Bachgerinne bei Prä, womit die Gemeinde- und Kantonsverantwortlichen vorgewarnt und verschiedene Strassen automatisch gesperrt wurden. Abgestimmt auf die Murgangalarmanlage waren die organisatorischen Massnah-

men, die von den Einsatzkräften auch geübt wurden. Der lokale Naturgefahrenberater der Gemeinde nahm während des Betriebs des Frühwarndienstes und der Bewältigung von einigen kleineren Ereignissen zwischen 2013 und 2017 wichtige Aufgaben an der Schnittstelle Kanton–Gemeinde wahr und trug so zur Verbesserung des integralen Risikomanagements bei.

Parallel zum etablierten Risikomanagement wurde ab 2013 ein Auffangbecken für 50 000 m³ Geschiebe, das dank einkalkuliertem Freibord und Überlastfall 200 000 m³ Geschiebe auffangen konnte, geplant und gebaut (zweiter Durchgang IRM). Dessen Notwendigkeit und Ausgestaltung führte im Dorf Bondo zu einigen Diskussionen. Dank der Zustimmung der Gemeinde Bregaglia, die das ganze Bergell und Maloja umfasst, konnte das Bauwerk dann aber zügig ausgeführt und 2016 fertiggestellt werden. Schliesslich beurteilte die kantonale Gefahrenkommission die (Rest-)Gefährdung nach Ausführung des Auffangbeckens mittels Gefahrenkarte und verabschiedete den angepassten Gefahrenzonenplan. Ebenfalls auf das neue Auffangbecken abgestimmt wurde die Notfallplanung mit der angepassten Interventionskarte Anfang 2017.

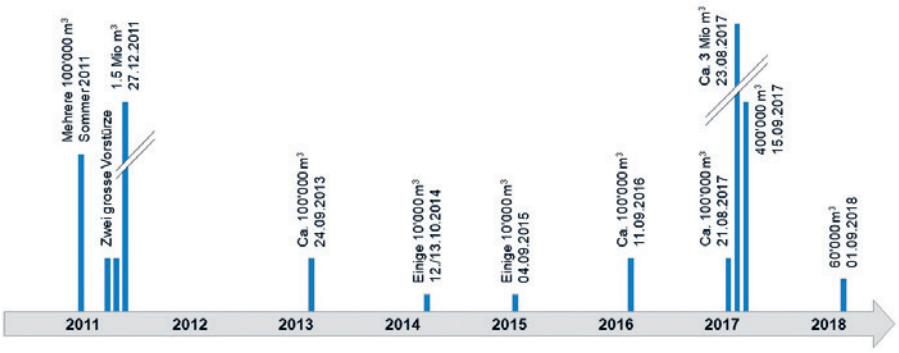


Abb. 4. Fels- und Bergstürze am Pizzo Cengalo 2011–2018. Neben den zwei Bergstürzen mit mehr als einer Mio. m³ sind nur die grössten bekannten Felsstürze aufgetragen. Die Kubaturen mussten z. T. grob geschätzt werden (Abbildung: AWN).



Abb. 5. Ablagerungen vom Bergsturz am Pizzo Cengalo vom 23. August 2017 und verfrachtetes Material in der Val Bondasca durch den unmittelbar folgenden Schuttstrom und die Murgänge zwischen dem 23. und 31. August 2017 (Foto: AWN, Badrutt).

1.4 Das Extremereignis vom 23. August 2017

Aufgrund der Beobachtungen und vor allem Messungen im Arge-Alp-Projekt (Kap. 2.2 und 2.3) wurde klar, dass es möglicherweise zu einem weiteren Bergsturz kommen könnte. Da die Sturzaktivität mit Stein- und Blockschlag am Pizzo Cengalo ohnehin hoch war, erregten hauptsächlich grössere Felsstürze Aufmerksamkeit. Am Pizzo Cengalo wurde zwischen 2011 und 2017 jedes Jahr eine Zunahme der Sturzaktivität während der Sommermonate beobachtet, die dann jeweils in einen grossen Felssturz mündete (Abb. 4). Insbesondere beim ersten Bergsturz am 27. Dezember 2011 ereigneten sich nur Stunden vor dem Bergsturz zwei sehr grosse Felsstürze.

Man rechnete 2013 noch mit Jahrzehnten bis zu einem erneuten Bergsturz. Diese Zeitspanne wurde 2015 verkürzt auf 1 bis 30 Jahre und mit den Messresultaten am 10. August 2017 auf Wochen bis Monate korrigiert. Die Ungewissheit war gross (Kap. 2.2–2.5), einen genauen Absturzzeitpunkt konnte man nicht voraussagen. Ein Ereignis, das man grundsätzlich kennt, aber dessen Eintritt nicht bestimmbar ist, bezeichnet Taleb 2010, S. 396 ff. als «Grauen Schwan».

Am 23. August 2017 stürzte ein Felsvolumen von ca. 3 Mio. m³ aus der Nordostflanke ab. Der Bergsturz erodierte am Wandfuss rund 0,6 Mio. m³ Eis (ETH Zürich 2017) und kam nach 90 Sekunden in der hinteren Val Bondasca kurzzeitig zum Stillstand (Abb. 5). Acht Personen, die sich während des Bergsturzes auf dem Abstieg von der Sciora-Hütte befanden, werden seither in diesem Gebiet vermisst.

Bereits 30 Sekunden nach Stillstand des Bergsturzes bewegte sich ein Schuttstrom (zähflüssiger Murgang) talwärts und verlagerte rund 0,5 Mio. m³ Material mit rund 8 m pro Sekunde durch die Val Bondasca. Rund 30 000 m³ davon drangen mit rund 2 m pro Sekunde durch die enge Schlucht bis nach Bondo vor. Nach dem Schuttstrom gelangten gleichentags und zwei Tage später insgesamt mehr als 10 Murgänge – ebenfalls ohne Niederschläge – bis nach Bondo. Am 31. August 2017 erreichte – ausgelöst durch Starkniederschläge – ein letzter, sehr grosser Murgang mit ca. 0,26 Mio. m³ Bondo, womit insgesamt rund 0,5 Mio. m³ Material bis nach Bondo verfrachtet wurden (Kap. 3 und 4).

Die Prozessverkettung aus Bergsturz und unmittelbarem Schuttstrom ist in

der Schweiz mit vergleichbaren Rahmenbedingungen kaum beobachtet worden und gilt auch weltweit als sehr selten (Gruner *et al.* 2018). Die speziellen Rahmenbedingungen am Pizzo Cengalo mit Abbruch von Felsmassen, sehr kurzer Transitstrecke über einen kleinen Gletscher, keiner Schneeüberdeckung und geringer Wasseraufnahme entlang der Auslaufstrecke sind in mehreren Punkten nicht vergleichbar mit den wenigen Beispielen, die weltweit schon beschrieben wurden (u.a. Petrakov *et al.* 2008). Auch ein Vergleich der zwei Bergstürze am Pizzo Cengalo zeigt markante Unterschiede (Tab. 1).

Die Ursachen des Bergsturzes wurden mit einer unmittelbar einberufenen Expertengruppe intensiv diskutiert und wie folgt beschrieben:

«Als Ursachen des Bergsturzes vom 23. August 2017 kommen unter anderem Kombinationen folgender Faktoren in Frage: Topographie, geologische Disposition, Sprödbruchverhalten des Bergeller Granits, Kluftwasserdruck und damit verringerte Stabilität aufgrund von Niederschlagswasser, Schmelzwasser aus Eis und Schnee oder auftauendem Permafrost.» (AWN 2017, S. 3).

Die Aufzählung der vielen Ursachen und der explizite Hinweis auf Kombinationen zeigt die Komplexität des Zusammenspiels vieler Faktoren, die in Untersuchung sind (Baer *et al.* 2017; Amann *et al.* 2019 in review). Auch knapp zwei Jahre nach dem Ereignis bestehen erhebliche Unsicherheiten betreffend der Ursachen und Verkettungen der Ereignisse. Antworten auf Fragen, wie sich der Klimawandel im Hochgebirge auf die Häufigkeit und Intensität von Massenbewegungen und insbesondere Prozessverkettungen auswirken wird, sind von der Wissenschaft weiter zu erforschen.

1.5 Risikokonzept und Schutzziele

Können gefährliche Prozesse Personen oder Sachwerte beziehungsweise menschliche Nutzungen im weiteren Sinne betreffen, sind Schäden nicht auszuschliessen, das heisst, es bestehen Risiken. Risiken können mit Wahrscheinlichkeit (Häufigkeit) und Ausmass von möglichen Schäden abgeschätzt werden. Grundlegend bei diesem Konzept ist, dass der Gefahrenprozess beziehungsweise die Risikokonstellation wiederkehrend auftritt und dementsprechend Häufigkeiten beziehungsweise Wahrscheinlichkeiten abgeleitet werden können. Bei einem Bergsturz muss man Abschätzungen und Annahmen mit sehr grossen Unsicherheiten treffen, eine Periodizität am gleichen Berg ist unwahrscheinlich. Das klassische Risikokonzept stösst an Grenzen.

Schutzziele bei Naturgefahren werden je nach Bedeutung und Intensität des genutzten Raumes abgestuft und damit werden Prioritäten bei den Schutzmassnahmen gesetzt. Sehr bedeutende Nutzungen wie Bauzonen, dauernd bewohnte Siedlungen und bedeutende Verkehrsträger (institutioneller Verantwortungsbereich) haben hohe Schutzziele, das heisst, es wird eine hohe Sicherheit angestrebt (PLANAT 2013). Dies begründet den hohen Aufwand, den man für die Murgangalarmanlage, das Auffangbecken und die organisatorischen Massnahmen in Bondo getätigt hat.

Entsprechend geringer ist das angestrebte Sicherheitsniveau bei nur zeitweise bewohnten Gebäuden. Für die Val Bondasca mit typischen Maiensässsiedlungen war ein Warn-/Alarmsystem für Bergsturz- und Murganggefährdung nicht verhältnismässig und wurde deshalb nicht weiterverfolgt. Im dünn besiedelten, aber von Naturgefahren beträchtlich betroffenen Kanton Graubünden wäre das Ziel, alle gefährdeten Streusiedlungsgebiete zu überwachen, ein nicht machbares Vorhaben.

Die Hüttenzustiege in die Val Bondasca sind Bergwanderwege (weiss-rot-weiss markiert), und der «Viale» ist ein Alpinweg (weiss-blau-weiss markiert). Für diese Wege werden im Gegensatz zu Siedlungen keine Gefahrenbeurteilungen mit raumplanerischen Instrumenten (Gefahrenkarten und Gefahrenzonen) vorgenommen. Auch Warn- oder gar Alarmsysteme für Naturgefahren stehen in der Regel nicht zur Diskussion. Im Vordergrund stehen bei erkannter erhöhter Gefährdung die Information aller Betroffenen, zum Beispiel mit Informations- und Warntafeln vor Ort, die Sperrung bei zeitlich absehbaren, akuten Gefährdungen oder, als letzte Massnahme, die Aufhebung eines Wegs bei nicht vertretbaren Risiken.

Tab. 1. Vergleich des ersten und zweiten Bergsturzes am Pizzo Cengalo anhand charakteristischer Merkmale. Der zweite Bergsturz unterscheidet sich vom ersten Bergsturz praktisch in allen Merkmalen massgebend. Während beim ersten Sturz das sichtbare Permafrosteis bei der Abbruchfläche Fragen aufwirft, erodiert der zweite Sturz massiv Gletschereis und geht kurz nach der Ablagerung in einen Schuttstrom über.

Merkmal	Bergsturz	Bergsturz
Zeitpunkt	27.12.2011, Winter	23.08.2017, Sommer
Ausbruchvolumen	1,5–2,0 Mio. m^3	3,1 Mio. m^3
Vorabstürze	Vorabstürze im Sommer 2011 und am Tag des Bergsturzes	Keine Vorabstürze in der Nordostwand
Ausbruchflächen	Gefrorenes Eis sichtbar, Felspermafrost	Wenig Eis sichtbar, viele nasse Flächen, Bergwasserspiegel hoch
Gletscherabtrag	Eis erodiert (Kubatur nicht bestimmt)	0,6 Mio. m^3 Eis erodiert
Staubentwicklung	Sehr gross	Verhältnismässig klein
Ablagerung	Gut abgrenzbar, kein Schuttstrom	Kurzer Stillstand, bereits 30 Sekunden nach Ablagerung fliesst ein Schuttstrom
Nachstürze	Keine relevanten Nachstürze	0,4 Mio. m^3 am 15.09.2017

2 Monitoring am Pizzo Cengalo

2.1 Geologische Disposition

Der Pizzo Cengalo gehört zum Bergeller-Granit und besteht zur Hauptsache aus Tonalit und Granodiorit mit geringeren Mengen an Gabbro, Hornblende und Dioriten (Schmid *et al.* 1996). Er

hat tektonische Deformation erlebt, und es sind im regionalen Massstab drei dominierende Kluftsysteme erkennbar (de Preux 2014, Abb. 6).

Als Bewegungsmechanismus für die Instabilität in der Nordostflanke des Cengalo wird eine Kombination von Blockkippen (Toppling) entlang dem Kluftsystem 3 und planarem Gleiten (planar sliding) entlang dem System 2 angesehen. Die Neigung und der Reibungswinkel sind kritische Parameter für das Blockkippen. Klüfte mit einer Neigung weniger als 55° können theoretisch nicht kippen. Das Blockkippen ist also nur in der oberen Hälfte möglich (de Preux 2014).

2.2 Arge-Alp-Forschungsprojekt

Nach dem Bergsturz vom 27. Dezember 2011 aus der Nordostflanke des Pizzo Cengalo ergab sich die Möglichkeit, die auslösenden Mechanismen für den Bergsturz im Rahmen eines von der Arge Alp finanzierten Projekts zu untersuchen (Kenner und Phillips 2017). Dank diesem Projekt konnten unter anderem interferometrische Radarmessungen (Ground-based Interferometric Synthetic Aperture Radar, GB-InSAR), terrestrische Laserscans (TLS) und detaillierte Analysen der Kluftsysteme durchgeführt werden. Aufgrund der exponierten Lage der Instabilität (dauernder Stein- und Blockschlag, kein Mobilfunkempfang etc.) war die im Rahmen des Projekts geplante Installation von *In-situ*-Sensoren wie Temperaturlogger oder Crackmeter nicht möglich, und es konnten und können bis heute ausschliesslich Fernerkundungsmethoden eingesetzt werden. Zudem war es aufgrund der schieren Grösse der Instabilität sehr schwierig, die relevanten Risssysteme für eine Instrumentierung zu bestimmen (Abb. 7).

Die im Rahmen des Arge-Alp-Projekts durchgeführten Untersuchungen dienten dazu, die am Pizzo Cengalo ablaufenden Prozesse zu erkennen und zu verstehen (Stufe 1 gemäss BAFU 2016 oder Sättele und Bründl 2015). Die Installation eines Warn- oder gar Alarmsystems war nicht vorgesehen.

Auch die Untersuchung des Verhaltens der Bergsturzablagerungen respektive die Prozessdynamik eines grossen Fels- oder Bergsturzes waren nicht Bestandteile des Projekts.

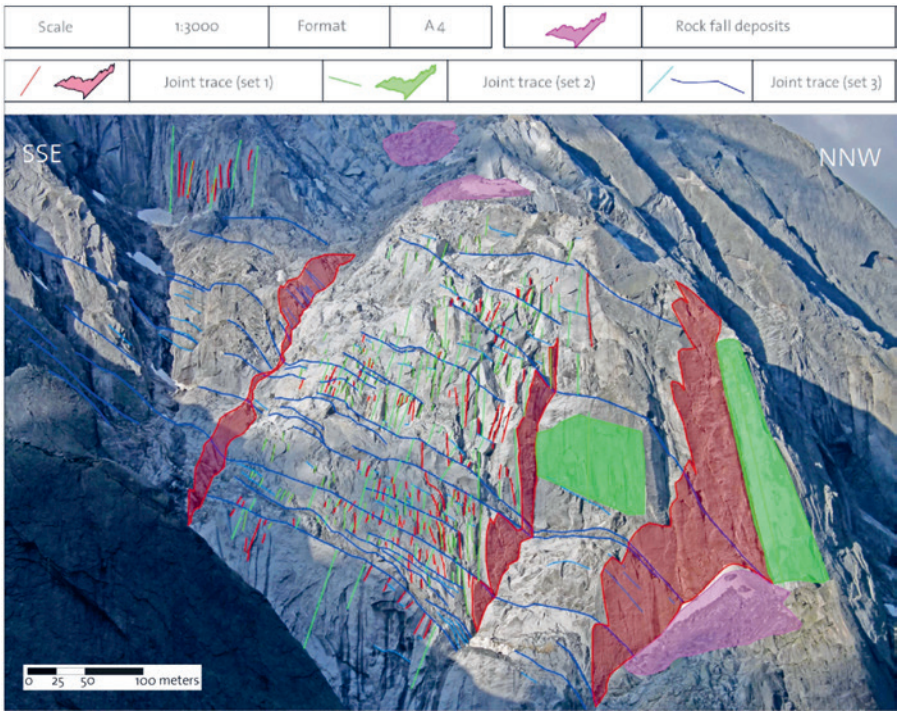


Abb. 6. Kluftsysteme in der Nordostflanke am Pizzo Cengalo. Rot: Kluftsystem 1 (005/70), Grün: Kluftsystem 2 (065/70), Blau: Kluftsystem 3 (245-270/50-70). Das Kluftsystem 3 fällt am Fusse der Instabilität mit 50° oder weniger ein, weiter oben fällt es mit bis zu 70° deutlich steiler ein (Abb.: de Preux 2014).



Abb. 7. Aufnahme der instabilen Felsmasse vom 11. August 2016. Der linke, stark frakturierte, helle Bereich ist am 23. August 2017 abgestürzt. Der Pfeiler im rechten Teil des Bilds ist weitgehend stehen geblieben (Foto: Y. Bonanomi).

Nach Abschluss des Arge-Alp-Projekts 2015 wurde entschieden, die periodischen GB-InSAR und TLS-Messungen zur Verfolgung des Bewegungsverhaltens der Instabiliät in der Nordostflanke weiterzuführen, da mit grosser Wahrscheinlichkeit ein weiteres Sturzereignis zu erwarten war. Eine präzise Vorhersage des Absturzzeitpunkts war auf der vorhandenen Datenbasis nicht möglich. Es wurde aber damit gerechnet, dass sich ein grosser Sturz in den nächsten 1 bis 30 Jahren ereignen würde. Die im Auftrag des Amts für Wald und Naturgefahren (AWN) durchgeführten Berg-

sturzsimulationen zeigten, dass bei einem Absturz mit einem Volumen von 3,7 Mio. m³ die Zustiege zur Sciora- und Sasc-Furä-Hütte gefährdet sein könnten.

2.3 Radarmessungen

2012 wurden am Pizzo Cengalo im Rahmen des Arge-Alp-Projekts zum ersten Mal GB-InSAR-Messungen durchgeführt. Ziel war es, über mehrere Tage permanent zu messen und zum Beispiel einen allfälligen Tagesgang der Bewegungen aufzulösen. Aufgrund technischer Probleme war dies aber nicht möglich. In der Folge wurden nur noch in periodischen Abständen Messungen an jeweils einem Tag durchgeführt.

Die Messtage mussten aufgrund der aufwändigen Logistik und um Synergien zu nutzen jeweils weit im Voraus terminiert werden, und in der Regel konnte nur ein Verschiebedatum vorgesehen werden. Dies hatte zur Folge, dass auch unter nicht optimalen Bedingungen gemessen werden musste. Zwischen 2012 und 2016 wurden mittlere jährliche Bewegungsraten von rund 2 cm gemessen.

Eine permanente Überwachung der Instabilität mittels Radarinterferometrie wurde sowohl im Arge-Alp-Projekt wie auch in den folgenden Jahren verschiedentlich geprüft, aufgrund der sehr hohen Kosten bei geringem Schadenpotenzial aber nicht weiterverfolgt. Erst die beim Ereignis vom 23. August 2017 beobachtete Prozessverkettung mit direkten Auswirkungen des Bergsturzes bis ins dauernd bewohnte Siedlungsgebiet von Bondo erforderte die Installation eines permanent messenden Radargeräts (Kap. 3.2.2).

2.4 Beobachtungen

Ein weiteres zentrales Element für die Beurteilung einer aktuellen Gefahrensituation bei erwarteten grossen Sturzereignissen ist die Sturzaktivität. Diese nahm bereits im Jahr 2011 stark zu, weswegen der direkt unterhalb der Nordwand des Pizzo Cengalo durchführende Alpinwanderweg «Viale» schon im Sommer 2011 durch die Verantwortlichen wegen unmittelbarer Gefährdung durch Stein- und Blockschlag sowie Felsstürze mit bis zu mehreren 100000 m³ gesperrt wurde.

Diese Zunahme der Sturzaktivität wurde in erster Linie von Berggängern sowie dem Personal der beiden SAC-Hütten festgestellt. In den folgenden Jahren wurde versucht, Frequenz und Magnitude der Sturzaktivität zu erfassen. Dabei musste berücksichtigt werden, dass sich Personen nur während der Hüttensaison von Ende Juni bis September im Gebiet aufhalten und Beobachtungen nur bei Tag und guter Sicht verlässlich möglich sind. Die Einschätzung der Grösse des Ereignisses hängt zudem stark von der akustischen Wahrnehmung und der Staubentwicklung ab.

Bei der Protokollierung der Sturzaktivität ist wichtig, die Ausbruchstellen klar zu bezeichnen. Konkret wurde am Pizzo Cengalo zwischen der Nordostflanke (mit der grossen, instabilen Masse) und der Nordwestflanke unterschieden (Abb. 8). Während Stürze aus der Nordwestflanke nicht in einem direkten Zusammenhang mit der Instabilität standen, hätte eine Zunahme von Stürzen aus der Nordostflanke auf eine Beschleunigung der instabilen Masse hindeuten können.

Bei der Interpretation ist schliesslich zu berücksichtigen, dass die beobachtete Sturzaktivität nicht ausschliesslich auf das Bewegungsverhalten der Instabilität zurückgeführt werden muss, sondern stark von einer temperaturgesteuerten, saisonalen Zunahme der Sturzaktivität überlagert sein kann. Dies gilt allerdings nur für kleine Ereignisse; Stürze mit Volumen von mehr als 100000 m³ treten über das ganze Jahr verteilt auf (z. B. SLF 2015).

2.5 Gefahrenbeurteilung kurzfristig vor dem Ereignis

Am 28. Juli 2017 wurde eine weitere periodische Radarmessung durchgeführt. Die Ergebnisse lagen am 10. August 2017 vor und zeigten gegenüber den Messungen früherer Jahre erstens eine signifikante Zunahme der Bewegung und zweitens ein grösseres Volumen, welches in Bewegung war. Aufgrund grossräumiger Dekorrelation konnten die exakten Bewegungsraten nicht mehr im gesamten Untersuchungsperimeter bestimmt werden. Die Bewegung im unteren Bereich wurde aber auf rund 10 cm pro Jahr geschätzt, was in diesem Bereich einer Zunahme der jährlichen Bewegungsrate um einen Faktor 2,5 bis 3 gegenüber dem Zeitraum von 2015 bis 2016 entsprach.

Bis am 9. August 2017 beurteilte man die Zeitspanne für einen möglichen Bergsturz noch mit «in den nächsten 1 bis 30 Jahren», denn es gab vorher keine neuen Informationen, die eine andere Einschätzung erfordert hätten. Aufgrund der Messdaten vom 10. August 2017 wurde eine sofortige Beurteilung der vorherrschenden Gefahrensituation vor Ort in die Wege geleitet, die aber keine Hinweise auf einen unmittelbar in den nächsten Tagen be-

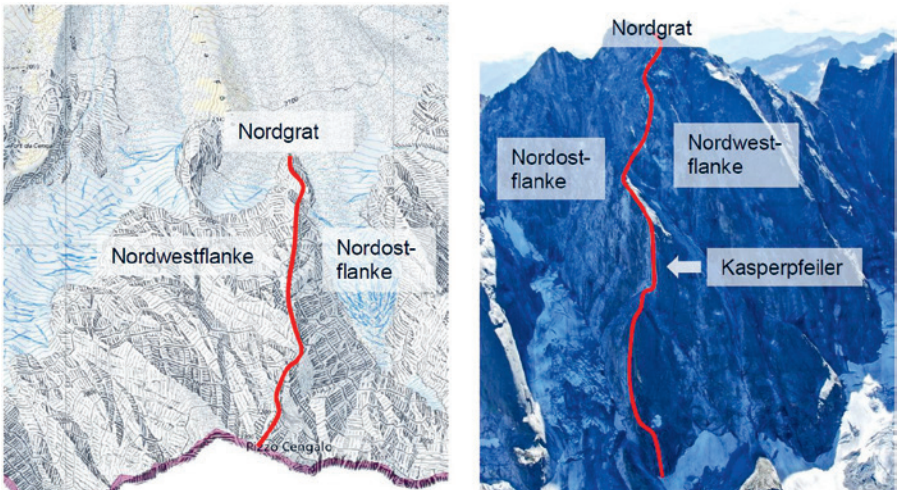


Abb. 8. Bezeichnungen in der Nordwand des Pizzo Cengalo. Links: Ausschnitt aus der Landeskarte (nicht massstabsgetreu), rechts: Ansicht der Nordwand des Pizzo Cengalo (Bild: Ch. Levy, 29. August 2010).

vorstehenden Absturz ergab. Es waren – abgesehen eines etwa 100000 bis 200000 m³ grossen Felspakets in der Nordwestflanke – keine neuen Risse, Spalten oder Klüfte erkennbar. Bestehende Risse und Klüfte hatten sich nicht weiter geöffnet. Die Sturzaktivität lag im Rahmen früherer Jahre, am Begehungstag vom 12. August 2017 wurde überhaupt keine Aktivität festgestellt.

Als Massnahmen wurden die Informationstafeln, welche seit 2015 auf die Gefährdung einzelner Abschnitte der Zustiege zur Sciora- und Sasc-Furä-Hütte hinwiesen, mit dem Hinweis aktualisiert, dass möglicherweise in den kommenden Wochen und Monaten mit einem grossen Bergsturz zu rechnen sei. Auch die Eigentümer der Maiensässhütten, die sich im Gefahrengebiet befanden, wurden schriftlich auf die erhöhte Gefahrensituation aufmerksam gemacht. Für den 1. September 2017 wurde eine weitere, ausserordentliche Radarmessung angesetzt.

Als wahrscheinlichstes Absturzszenario wurde angenommen, dass vor einem Bergsturz mehrere grosse Felsstürze mit Volumen von jeweils einigen 100000 m³ als Vorstürze abgehen würden (ähnlich den Vorstürzen beim Bergsturz vom 27. Dezember 2011). Sturzmodellierungen zeigten, dass Felsstürze und sogar Bergstürze bis zu einem Volumen von 1,5 Mio. m³ die Hüttenwege nicht erreichen würden. Ein schlagartiger Absturz des gesamten Volumens in einem Paket wurde als eher unwahrscheinlich beurteilt.

Die Sturzaktivität aus der Nordwestflanke mit dem stark zerklüfteten Felspaket nahm in den darauffolgenden Tagen kontinuierlich zu, bis am 21. August um 11:30 Uhr ein Felssturz mit einem geschätzten Volumen von etwa 150000 m³ niederging und von einem Bergänger zufällig fotografiert wurde (Abb. 9). Das Ereignis entsprach den Erwartungen, das abgestürzte Felspaket wurde bereits am 12. August als absturzgefährdet beurteilt.

Die Sturzaktivität aus der Nordostflanke nahm seit dem 14. August 2017 kurzfristig zu und dann wieder ab. Ein solches Verhalten wurde auch schon in früheren Jahren beobachtet, zudem handelte es sich bei den beobachteten Stürzen nur um Blockschläge, also kleine Ereignisse.



Abb. 9. Felssturz vom 21. August 2017 aus der Nordwestflanke um ca. 11:30 Uhr. Das Bild wurde vom Hüttenweg in die Sciora-Hütte aufgenommen, das ausgebrochene Volumen lag bei schätzungsweise 150000 m³, die Staubentwicklung war enorm (Quelle: unbekannt).

Der grosse Felssturz aus der Nordwestflanke vom 21. August 2017 wurde deshalb nicht als Vorbote für einen Bergsturz aus der Nordostflanke interpretiert. Es wurde weiterhin davon ausgegangen, dass auch dort nicht nur eine Zunahme der Sturzaktivität, sondern auch eine Zunahme der Sturzvolumen zu beobachten sein werde und dass einem Bergsturz grosse Felsstürze vorausgehen würden.

Auch am 22. August wurde in der Nordostflanke keine erhöhte Sturzaktivität beobachtet. Bis am Morgen des 23. August 2017 lagen damit keine Hinweise auf einen unmittelbar bevorstehenden Bergsturz aus der Nordostflanke vor.

3 Ereignisbewältigung – Teil Naturgefahren

3.1 Beurteilung in akuter Gefahrenlage und Sicherheitskonzept

Die Murgangalarmanlage löste um 09:36 Uhr Alarm aus, wodurch die Kantons- und Gemeindestrassen via Ampeln automatisch gesperrt wurden. Die Einsatzkräfte bezogen Beobachtungsposten, sperrten die kritischen Bereiche ab und evakuierten aufgrund der immensen Geräuschentwicklungen in der Schluchtstrecke der Val Bondasca das Dorf Bondo. Die laufende Naturgefahrenbeurteilung, die Vermisstensuche, die Evakuation der Val Bondasca, die Sperrungen und Verkehrsumleitungen, das Sicherheitskonzept und die Alarmierung, die Versorgung der Bevölkerung und Einsatzkräfte sowie die Information der Bevölkerung, Öffentlichkeit und Medien sind organisatorische und sicherheitstechnische Massnahmen der ersten Stunden – eine riesige Herausforderung für die Einsatzleitung, die richtigen Prioritäten zu setzen!

Gemäss dem Bündner Konzept leitet in besonderen Lagen die Kantonspolizei KaPo die Ereignisbewältigung, bis – je nach Lage – ein Gemeindeführungsstab oder der Kantonale Führungsstab die Einsatzleitung übernimmt. In Bondo übergab die KaPo die Verantwortung für die Ereignisbewältigung am 28. August 2017 an den Gemeindeführungsstab, welcher bis am 18. September 2017 durch den Chef des Kantonalen Führungsstabs und anschliessend bis am 15. Dezember 2017 durch die Gemeindepräsidentin geleitet wurde. Die kantonale Fachstelle Naturgefahren deckte zusammen mit privaten Experten die Bereiche «Naturgefahren» und «Projekte» (Kap. 4) ab. Die Naturgefahrenbeurteilung in akuter und dauernd veränderter Lage in Bondo beinhaltete viele Eigenschaften, die eine akute Lage charakterisieren (z. B. Hählen 2018).

Aufgaben des Ressorts Naturgefahren waren:
- Laufende Gefahrenbeurteilung
- Beratung des Führungsstabs bei Sicherheitsmassnahmen
- Empfehlungen zum Evakuationsplan
- Strategie Sofortmassnahmen, Beratung und Information des Leiters Projekte
- Koordination laufender und neuer Aufträge an Ing.-Büros und
- Auskünfte an Medien zur Gefahrensituation vor Ort

Nachfolgend werden die Gefahrenbeurteilung und das Sicherheitskonzept erläutert. Die laufende Beurteilung der Situation am Pizzo Cengalo und in der Val Bondasca hinsichtlich der aktuellen Gefährdung der Einsatzkräfte und den Siedlungsgebieten in Bondo war eine komplexe Aufgabe mit dauernd wechselnden Rahmenbedingungen. Herausfordernd war auch, das Naturgefahrenteam permanent mit Verantwortlichen und Stellvertretern zu besetzen und die Information und Kommunikation im Team und nach aussen ohne Unterbruch zu gewährleisten.

Folgende Punkte standen bei der Gefahrenbeurteilung im Vordergrund (Reihenfolge variierend):
- *Beobachtung der Situation und der meteorologischen Entwicklung.* Täglich wurden Rekoflüge durchgeführt, um die aktuelle Lage vor Ort einzuschätzen. Sicherheits-, Wach- und Beobachtungsposten, deren Standorte laufend der Situation angepasst werden mussten, und die Daten des Frühwarnsystems waren ebenfalls zentral für die Einschätzung. MeteoSchweiz erstellte zudem durchgehend eine Spezialprognose für zu erwartende Niederschläge in der Val Bondasca.
- *Beurteilung des Pizzo Cengalos in Bezug auf erneute Fels-/Bergstürze.* Die permanenten Radarmessungen (Kap. 3.2.2) ab 4. September 2017 waren für die Gefahrenbeurteilung zentral. Zusätzlich dokumentierte ein dort stationierter Beobachtungsposten sämtliche Sturzereignisse.
- *Einbezug der Daten von lokalen Messstationen und weiteren Informationen.* Neben den verfügbaren Meteo- und Abflussdaten wurden in den darauffolgenden Wochen zusätzliche Messstationen installiert. Eine grosse Herausforderung war auch die Beurteilung und der adäquate Einbezug von vielen weiteren Informationen, die aus sehr unterschiedlichen Quellen stammten.
- *Beurteilung des potenziell mobilisierbaren Materials in der Val Bondasca und Murgangsimulationen.* Das mobilisierbare Material wurde laufend abgeschätzt, wobei die Kubaturberechnungen aus dem Rapid Mapping (Kap. 3.2.1) sehr wichtig waren. Die Simulationen wurden

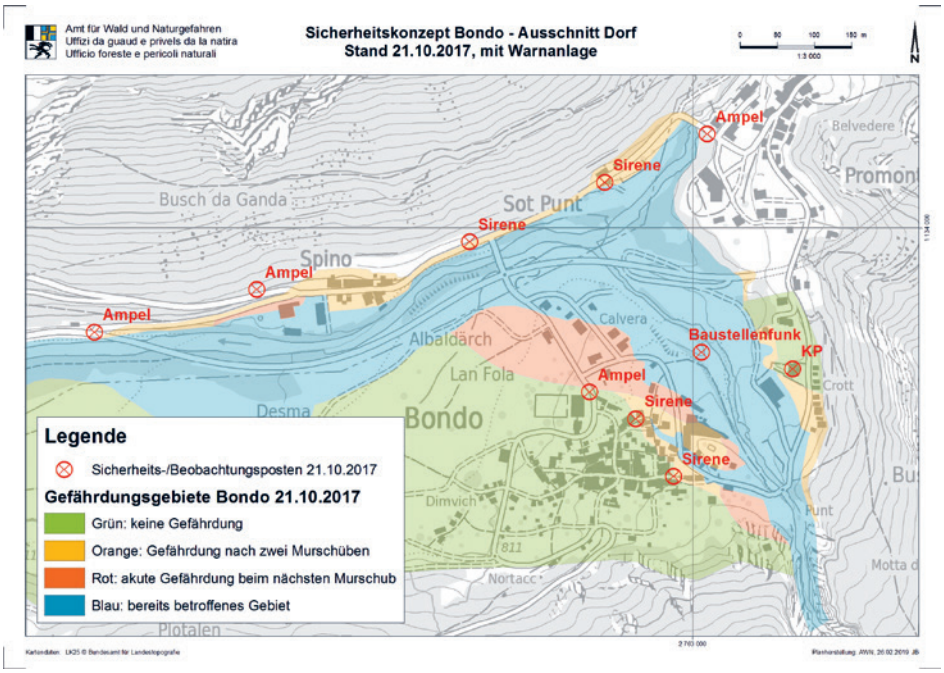


Abb. 10. Sicherheitskonzept Bondo–Ausschnitt Dorf mit den täglich aktualisierten Gefährdungsgebieten. Für die Ausdehnung der Gefährdungsgebiete waren hauptsächlich die aktuelle Gefahrenlage, die prognostizierten, kurzfristigen Entwicklungen, der Stand der Warn- und Alarmierungseinrichtungen und der Stand bei der Räumung und Wiederinstandstellung des Auffangbeckens massgebend (Abb.: AWN).

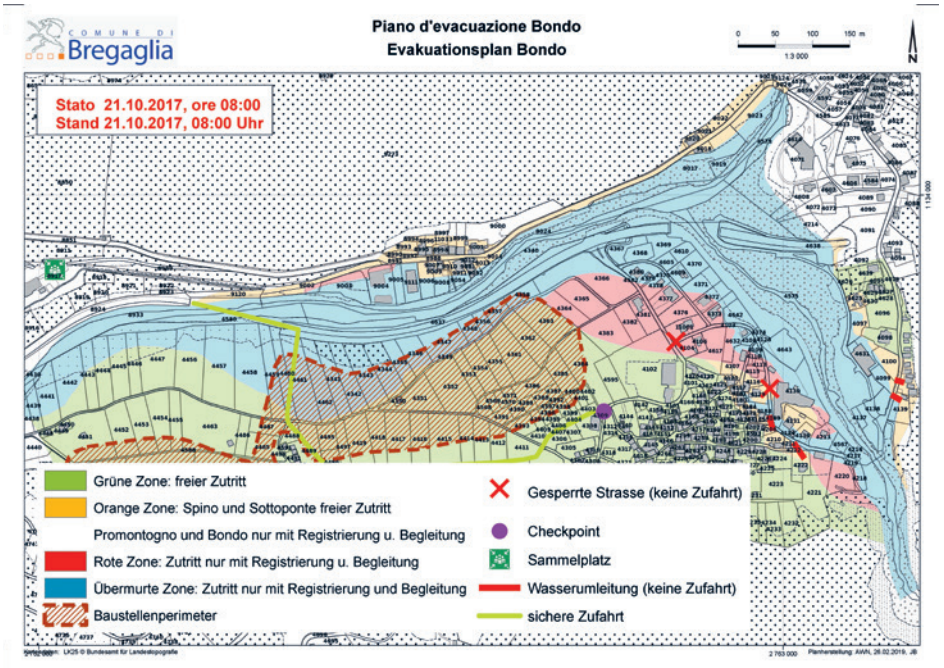


Abb. 11. Evakuationsplan Bondo. Basierend auf den Gefährdungsgebieten und weiteren Rahmenbedingungen wie gefährdete Zugänge usw. wurden die Evakuationsentscheidungen getroffen. Zuständig war die Gemeinde, die dazu auch die Bevölkerung und periodisch die Medien informierte (Abb.: AWN).

auf den aktuellsten Geländemodellen (Rapid Mapping) durchgeführt. Dabei wurden die Eingangsparameter variiert. Anhand dieser Simulationen konnte der potenzielle Ablagerungsbereich für erneute Murgänge abgeschätzt werden.
– *Tägliche Szenarienbildung und Gefahreneinschätzung.* War anfangs die Szenarienbildung ad hoc und eher pauschal, wurde diese zunehmend systematisiert und quantifiziert. Neben den vielen Parametern, die für die einzelnen Ereignisse massgebend waren, wurden auch laufend Ereignisverkettungen bei der Szenarienbildung berücksichtigt. Schliesslich waren auch Szenarien aus bestehenden Gutachten nicht ausser Acht zu lassen und Worst-Case-Überlegungen anzustellen.

Ergebnis dieser Arbeiten war unter anderem eine täglich aktualisierte Karte mit den Gefährdungsgebieten von Bondo (Abb. 10). Basierend auf dieser Karte wurde das Frühwarnsystem bedarfsgerecht festgelegt, und der Führungsstab setzte unter Einbezug der Vorwarnzeiten die erforderlichen Regelungen (Ablaufdiagramme, Vorschriften, Absperrpläne, Checklisten usw.) jeweils in einem Sicherheitskonzept um. In engem Bezug dazu standen auch der Evakuationsplan und die organisatorischen Massnahmen (Abb. 11). Zuständig für die Umsetzung dieser Massnahmen war die Gemeinde, die dazu auch laufend die Bevölkerung und periodisch die Medien informierte.

Nach dem Bergsturz vom 23. August 2017 berief der Kanton Graubünden unter Federführung des AWN unverzüglich eine Expertengruppe aus der ganzen Schweiz ein. Diese Spezialisten aus Wissenschaft und Praxis sowie aus verschiedenen Disziplinen und Themenbereichen wie Geologie, Gletscher, Schnee/Lawinen, Wasserbau, Messmethoden und Murgang arbeiteten mit den Fachleuten des Kantons zusammen. Ziel für die Gruppe war:
– bei der umfassenden Ereignisanalyse «Bergsturz Cengalo – Murgänge Bondo» vorhandene Erfahrungen einzubeziehen und zusätzliches Wissen zu generieren und
– den Beauftragten und Behörden fachliche Hinweise und Grundlagen für die Ereignisbewältigung in kurz-, mittel- und längerfristiger Hinsicht zu liefern.

Mehrere der Fragen, die im Laufe der Arbeit der Expertengruppe auftauchten, konnten nicht abschliessend beantwortet werden (AWN 2017). Die Expertengruppe war aber ein äusserst hilfreiches Gremium, und dieses Vorgehen dürfte zukünftig bei Extremereignissen Standard werden.

3.2 Entscheidungsgrundlagen

Einerseits ist die unvollständige Informationslage eine der Hauptherausforderungen bei der Bewältigung von Grossereignissen. Andererseits sind zu viele Daten und Informationen, vor allem wenn deren Qualität unklar und die Unsicherheiten gross sind, heikel für die Entscheidungsfindung. Deshalb ist die rasche Beschaffung von zuverlässigen räumlichen Informationen sowohl für die Ereignisbewältigung als auch für die Ereignisanalyse und Wiederinstandstellung entscheidend. Nachfolgend wird auf Rapid Mapping und permanente Radarmessungen eingegangen.

3.2.1 Rapid Mapping

Um die zeitnahe Erfassung, Aufbereitung und Zurverfügungstellung von Geodaten, das sogenannte Rapid Mapping, sicherzustellen, wurden in Bondo bereits am Tag des Bergsturzes die ersten Befliegungsaufträge ausgelöst. Primäres Ziel war dabei, für die Ereignisbewältigung möglichst rasch einen Gesamtüberblick zu gewinnen. Nach der ersten Befliegung vom 25. August 2017 wurden bis Ende 2017 insgesamt drei weitere Befliegungen des Gesamtperimeters und fünf Befliegungen des Kegelbereichs durchgeführt. Dabei wurden Drohnen, Helikopter und Flächenflugzeuge mit optischen Kameras, Laserscannern und/oder Zeilensensoren eingesetzt. Aus den Aufnahmen wurden Schrägbilder, Orthofotos und digitale Geländemodelle erstellt (Abb. 12).

Rapid Mapping und Datenauswertung wurden von der kantonalen Fachstelle ausgelöst und vom Bund (BAFU, swisstopo) sowie beauftragten Firmen durchgeführt. Die Aufteilung der Befliegungen je nach Anforderungen und Aufnahmeintervall (Ereignisanalyse Gesamtperimeter vs. Instandstellung Kegelbereich) hat sich bewährt. Die Koordination wurde von einer Ansprechperson der Fachstelle wahrgenommen.

Bezüglich Produkten hat sich ein mehrstufiges Vorgehen bewährt. In der Akutphase der Ereignisbewältigung stand der Zeitfaktor im Vordergrund. Schrägbilder und Orthofotos mussten als Übersicht möglichst rasch verfügbar sein, die Genauigkeit war zweitrangig. Deshalb wurden in einem ersten Durchgang vereinfachte Orthofotos mit geringerer Qualität berechnet, welche rund einen Tag nach dem Flug verfügbar waren.

Orthofotos und digitale Geländemodelle als wesentliche Produkte für die Wiederinstandstellung, Ereignisanalyse und zukünftige Gefahrenbeurteilung stellen höhere Ansprüche an die Qualität, sind aber weniger zeitkritisch, wenn sie nicht für die aktuelle Gefahrenbeurteilung benötigt werden. Die aus den zu verschiedenen Zeitpunkten aufge-



Abb. 12. Kartierung der Ereignisflächen und Gebäudeschäden für den 25.08.2017, 29.08.2017 und 31.08.2017 mittels den Produkten aus dem Rapid Mapping (Abb.: AWN).

nommenen Geländemodellen berechneten Massenbilanzen lassen Rückschlüsse zur Prozessausprägung (Ausbruchkubatur, Erosion, Ablagerung) zu und sind hilfreich für die Beurteilung des neuen Gefahrenpotenzials (Abb. 13). Herausfordernd ist dabei die Erstellung einer zuverlässigen Nullmessung als Vergleich mit dem Zustand vor dem Ereignis (ältere Daten, heterogene Quellen, dynamischer Raum, geringere Datenqualität).

Im Kontext der akuten Ereignisbewältigung in Bondo war die Datenerhebung aufgrund des sehr hohen Zeitdrucks und der dynamischen Ereignisentwicklung ein Wettlauf. Die alpine Lage mit schwierigen meteorologischen Bedingungen (Wetter, Sicht, Wind) und extremer Topographie (Höhendifferenz, Neigung, Nordexposition) sowie die Grösse des Gebiets boten weitere Herausforderungen. Hinsichtlich Datenvertrieb war sicherzustellen, dass verschiedene Anwender grosse Datenmengen trotz eingeschränkter Infrastruktur beziehen und nutzen konnten (cloud-Dienste, Mapservices, GIS-Server).

Die Festlegung von Standardprodukten mit jeweiliger Datenqualität und Lieferfrist, die Klärung von Abläufen, Entscheidungswegen und Verantwortlichkeiten sowie die Sicherstellung von Datenvertrieb und Nutzung im Ernstfall sollten im Sinne einer Notfallplanung vorgängig sichergestellt werden.

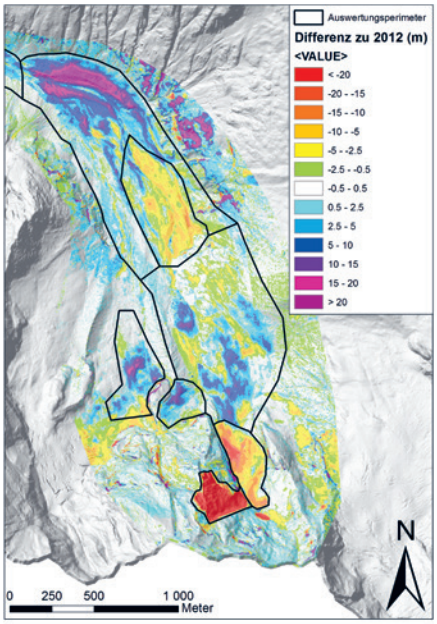


Abb. 13. Höhenänderung der Geländeoberfläche, Stand 25. August 2017, gegenüber dem 18. Juli 2012 zur Berechnung von Massenbilanzen. Die Daten sind ausserhalb des Auswertungsperimeters nicht korrigiert (Abb.: AWN).

3.2.2 Permanente Radarmessungen

Mit den permanenten Radarmessungen seit dem 4. September 2017 konnten zwischenzeitlich bereits mehrere, zum Teil grosse Felsstürze frühzeitig erkannt und der Absturzzeitpunkt etwa ein bis zwei Tage im Voraus bestimmt werden. Das bisher grösste Ereignis, ein Felssturz mit einem Volumen von rund 400000 m^3, ereignete sich am 15. September 2017. Die instabile Masse wurde seit Inbetriebnahme des permanenten Radars beobachtet, wobei zu Beginn noch unklar war, ob es sich um oberflächliche Erosionsprozesse handelt (bröckelnder Schutt) oder tatsächlich um eine instabile Felsmasse. Am 13. September 2017 konnte dann zum ersten Mal eine Prognose über den möglichen Absturzzeitpunkt gemacht werden (Abb. 14).

Dank der permanenten Überwachung wurde weiter erkannt, dass sich eine nach dem Bergsturz vom 23. August 2017 verbliebene, mehrere Millionen m^3 grosse instabile Masse nicht wie erwartet kontinuierlich und vor allem im Winterhalbjahr bewegt, sondern ruckweise während sehr kurzen Phasen im Sommer. Zudem wurde in zwei Phasen anschliessend eine vom Radar weg gerichtete Bewegung festgestellt. Diese «Rückwärtsbewegung» konnte mit einer zweiten, vom permanenten Radargerät unabhängigen periodischen Radarmessung bestätigt werden.

Beeinträchtigt werden die Messungen insbesondere durch Schnee und Eis sowie durch starke atmosphärische Störungen. Die Erfahrungen am Pizzo Cengalo haben aber gezeigt, dass die Verfügbarkeit zuverlässiger Daten gleichwohl sehr hoch ist. Allerdings sind die automatisierten Auswertungen und die Interpretation der Daten anspruchsvoll und sehr zeitaufwändig.

4 Ereignisbewältigung – Teil Wiederinstandstellung

4.1 Räumen – aber wie?

Jedem Projekt geht ein klares Endziel voraus, so auch bei der Räumung und Deponie des Murgangmaterials sowie

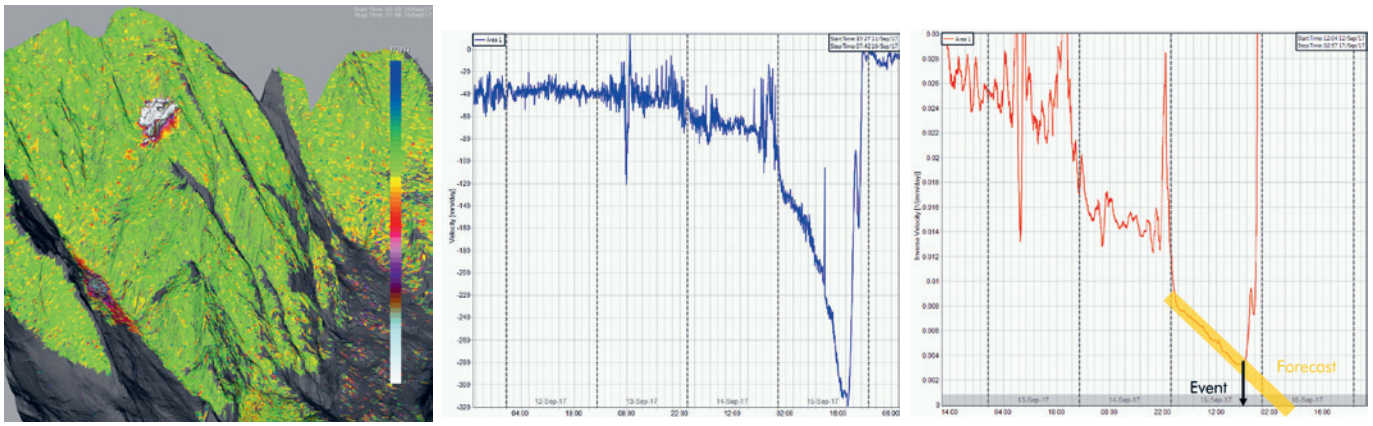


Abb. 14. Links: Instabile Felsmasse etwa 15 Stunden vor dem Absturz am 15. 09. 2017 (Nachsturz zum Ereignis vom 23. August 2017). Zum Zeitpunkt der Messung herrschten mit Regen und Schneefall sehr schlechte Messbedingungen; trotzdem war die Felsmasse sehr gut abgrenz- und die Bewegungsrate gut bestimmbar. Mitte: Mittlere Bewegungsrate der instabilen Felsmasse in mm/Tag. Rechts: Darstellung der inversen Geschwindigkeit (1/v). Eine verlässliche Prognose liess sich erst ca. ein Tag vor dem Absturz machen. Die Masse stürzte dann ein paar Stunden früher als erwartet in mehreren grossen Teilabbrüchen ab (alle Bilder: Geopraevent AG).



Abb. 15. Situation am 1. September 2017 nach dem letzten grossen Murgang vom 31.08.2017. Zu diesem Zeitpunkt lagen im und rund um das Becken von Bondo 490000 m³ Murgangmaterial (Foto: AWN).

der Wiederinstandstellung nach Grossereignissen. Etappenziele müssen dabei im Gesamtteam koordiniert, der anfänglich immer wieder sich ändernden Situation angepasst und letztlich über eine gewisse Zeit auch explizit im Sinne einer rollenden Planung definiert werden.

Wichtig ist, dass zwischen dem Gemeindeführungsstab und der Projektorganisation für die parallel verlaufende Räumung und Wiederinstandstellung eine institutionalisierte Schnittstelle besteht. Mit dem Einsitz des Gesamtprojektleiters der Wiederinstandstellung und dem Vorsteher des Bauamts im Führungsstab war in Bondo diese Koordination gewährleistet.

Die notwendigen baulichen Massnahmen sind aufgrund ihrer zeitlichen Dringlichkeit weder planbar, noch nach den geltenden Regeln der Submissionsgesetzgebung ordentlich ausschreibbar (Abb. 15). Gerade deshalb ist es wichtig, nach den folgenden, rein technisch-sachlichen Kriterien entsprechende Kapazitäten direkt aufzubieten:

– Technische Bedürfnisse respektive Leistungsfähigkeit: Im Fokus stehen dabei rein technische Aspekte zur Wahl von Maschinen. Dies gilt insbesondere für spezielle Maschinen (Bagger mit Tonnage grösser 50 t, spezielle Langarmbagger, ferngesteuerte Maschinen, Grösse der Dumper usw.).
– *Zeitlich/räumliche Verfügbarkeit:* die Verfügbarkeit wird in aufsteigender Reihenfolge und aus der Optik des Ereignisortes von lokal–regional–kantonal bis ausserkantonal abgeklärt.

Erst nach Abschluss der Ereignisphase und der einhergehenden Planbarkeit der anstehenden Arbeiten können die nächsten Bauphasen ordentlich nach den Regeln der Kunst und der Submissionsgesetzgebung durchgeführt werden.

4.2 Engpässe, Herausforderungen und Risiken

Die Koordination und Logistik einer Grossbaustelle ist besonders dann eine grosse Herausforderung, wenn nach wie vor die Gefahr weiterer Ereignisse besteht. Je nach Bedrohungslage werden entsprechende Sicherheitsvorkehrungen für das Personal getroffen. Der Verlust einer oder mehrerer (insbesondere ferngesteuerter) Maschinen wird zu diesem Zeitpunkt der Ereignisbewältigung bewusst in Kauf genommen.

Das Frühwarnsystem Bondo bestand in der Anfangsphase aus Wachposten der Feuerwehr, der Armee und des Forst-/Werkdienstes, die je nach Wettersituation eine Vorwarnzeit zwischen zwei und vier Minuten gewährleisten konnten. Bagger- und Dumperfahrer wurden im Falle eines Ereignisses anfänglich von Zivilschutzdienstleistenden vor Ort direkt von Mann zu Mann gewarnt respektive aus dem Gefahrenbereich gewunken. Nach der Wiederinstandstellung und dem Ausbau des automatisierten Frühwarn- und Alarmsystems konnte bei jeder Wetterlage über 24 Stunden zuverlässig eine vierminütige Vorwarnzeit garantiert werden. Einhergehend wurden alle Personen im Gefahrenbereich mit Funk und Ohrhöhrer ausgestattet, damit sie bei erneuten Ereignissen direkt gewarnt werden konnten.

Die eigentliche Abtrags-, Transport- und Deponiekapazität korreliert nur bis zu einem gewissen Grad direkt mit der Anzahl Maschinen und deren Leistungsfähigkeit im Einsatz. Der Abbau des Murgangmaterials hat insofern Grenzen, als irgendwann die Baupisten respektive die Transportwege zu kurz und zu schmal sind, um überall zu kreuzen, die Abtragsorte bereits alle besetzt sind oder das Deponiegelände zu klein ist, als dass noch mehr Maschinen die Gesamtkapazität steigern könnten. Im Falle von Bondo waren es in den Spitzenzeiten 12 Bagger grösser 30 t und 15 Dumper mit Kapazitäten von 16 bis 24 m³, die im Einschichtbetrieb bis zu 8000 m³/Tag und im Zweischichtbetrieb etwas mehr als 15000 m³/20 h abtragen, transportieren und deponieren konnten (Abb. 16).

Der Zweischichtbetrieb wurde über 20 Stunden organisiert, die restlichen vier Stunden wurden für die Instandhaltung des Maschinenparks verwendet. Der Nachtschichtbetrieb setzt eine optimale Beleuchtung des Schadenplatzes voraus. Einerseits sollen die Leuchtmittel einen mehrere Hektaren grossen Raum optimal ausleuchten, andererseits ist bei der Platzierung der Leuchtmittel unbedingt zu beachten, dass sie keinen Maschinisten blenden, um Unfälle zu verhindern. Die zur Verfügung stehenden Maschinen und technischen Hilfsmittel setzen entsprechend geschultes Personal auf Platz voraus, um einen effizienten Einsatz zu gewährleisten und die laufende Koordination vorzunehmen (Abb. 17).

Besondere Beachtung erfordert die Integration der Schweizer Armee bei baulichen Tätigkeiten. Hier sind prinzipiell Konkurrenzsituationen mit der Privatwirtschaft zu vermeiden, was aufgrund ihrer unterschiedlichen Maschinenpärke, Fähigkeiten und Kompetenzen in Bondo gut machbar war.

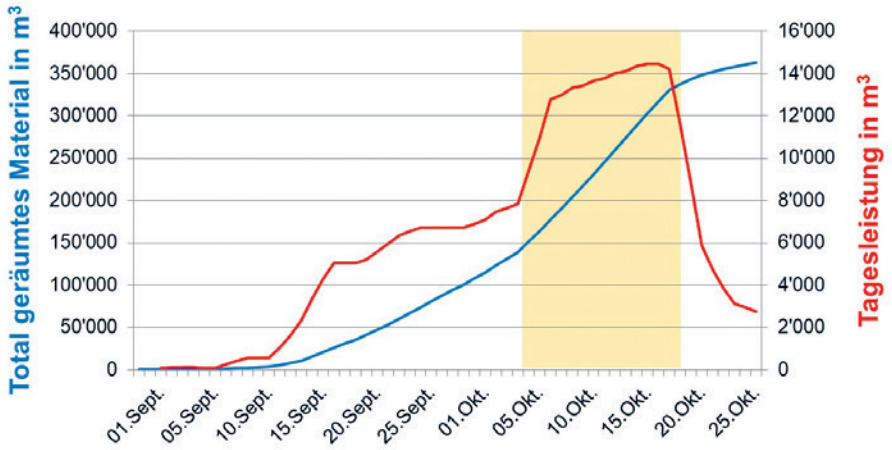


Abb. 16. Tagesleistung des abgetragenen, transportierten und deponierten Murgangmaterials in Bondo (rote Linie) sowie Verlauf des total geräumten Materials (blaue Linie) vom 29.08.2017–24.10.2017. Der gelb markierte Bereich zeigt den Zeitraum der Räumungsarbeiten im Zweischichtbetrieb (Abb.: AWN).



Abb. 17. Grossbetrieb im Hauptablagerungsgebiet Bondo–Auffangbecken. Dort war eine ständige Koordination durch Bodenpersonal vor Ort essenziell, um Unfälle zu vermeiden und eine bestmögliche Effizienz zu gewährleisten (Foto: AWN).

5 Stand heute und Ausblick

5.1 Risikomanagement unter neuen Rahmenbedingungen

Bereits 2012 bis 2017 durchlief man den Kreislauf des integralen Risikomanagements wegen Murgängen in Bondo zweimal (Abb. 3, Kap. 1.3), gefolgt von einem weiteren Durchgang 2017 mit der Ereignisbewältigung und Wiederinstandstellung der provisorischen Schutzbauten (Kap. 3 und 4). Kanton und Gemeinde stehen mit der Planung des neuen Schutzbauwerks vor einem erneuten Durchgang, jedoch mit völlig veränderten Rahmenbedingungen. Am Pizzo Cengalo kann ein erneuter Bergsturz in gleicher Grössenordnung nicht ausgeschlossen werden und in der Val Bondasca liegen seit den Ereignissen von 2017 Materialablagerungen von gegen 3 Mio. m³, deren Wassersättigung und somit deren Abgangsbereitschaft bei einem erneuten Sturz noch ungewiss sind. Eine Gefahrenkarte Wasser musste für die heutige Situation erstellt werden (beffa tognacca gmbh 2018), wozu verschiedene Vorstudien (u.a. ETH Zürich 2017, SLF 2018) einbezogen wurden (Abb. 18).

Die Methodik zur Erstellung einer Gefahrenkarte Wasser in Bondo stösst in verschiedener Hinsicht an Grenzen beziehungsweise ist für diese Rahmenbedingungen noch nicht gelöst. Zum einen waren die Eingangsgrössen teils nur mit sehr grossen Unsicherheiten abschätzbar oder es mussten zur Eintretenswahrscheinlichkeit nicht periodischer Ereignisse schlicht Annahmen getroffen werden. Zum andern führten nicht ausser Acht zu lassende Ereignisverkettungen zu einer Vielzahl von Szenarien, deren Aggregation zu Ereignissen mit einer 30-, 100- und 300-jährlichen «Wiederkehrdauer» für die Gefahrenkarte nur im Kontext mit den baulichen und organisatorischen Massnahmen zulässig waren. So musste zum Beispiel überlegt werden, ob das provisorische Auffangbecken zeitgerecht geräumt werden kann, wenn ein 100-jährliches Ereignis (als Kombination sehr vieler Szenarien) in sehr ungünstiger Abfolge eintreten wird. Zu entscheiden ist auch, welcher Teil des Risikos – basierend auf der aktuellen Gefahrenkarte – mit neuen Schutzbauten ab-

gedeckt werden kann, was noch organisatorisch bewältigt werden muss und welche Restrisiken verbleiben.

5.2 Ausblick und offene Fragen

Die alten Schutzbauten – soweit überhaupt möglich – wieder instandzusetzen ist das eine, den Blickwinkel zu öffnen und sich hinsichtlich einer neuen Schutzbautenkonzeption möglichst viele Optionen offen zu halten, das andere. Für Letzteres muss der Handlungsspielraum für die neuen Schutzbauten, Nutzungen und Erschliessungen und für die Aufwertung des Orts- und Landschaftsbildes verhandelt werden. Zudem sollte der Freiraum für künftige Ereignisse und deren Überlastfall möglichst gross sein. Dies erfordert Verzicht auf landwirtschaftliches Land oder gar Wohnraum. In Bondo durften in diesem Zusammenhang mehrere zerstörte und total beschädigte Gebäude nicht wieder aufgebaut werden. Auch mussten einige Gebäude mit Schäden abgerissen werden, um den notwendigen Freiraum für das Schutzkonzept zu sichern (Abb. 18). Dank sofortiger und intensiver Koordination von Gemeinde, Gebäudeversicherung und Dienststellen von Bund und Kanton konnte dieser Prozess zeitgerecht und bis anhin zielführend für eine wegweisende Gesamtlösung gesteuert und kommuniziert werden.

Gefahrenbeurteilung, Raumnutzung und Risikomanagement ergeben laufend neue Fragen, mit denen umgegangen und zu denen entschieden werden muss. Insbesondere für die Gefahrenbeurteilung von weiteren möglichen Sturzszenarien wurde ein nationales Expertenteam beauftragt, die Erfahrungen von Bergstürzen weltweit einzubeziehen, um den Stand des Wissens für die Modellierung sicherzustellen.

Offene Fragen, die heute anstehen, sind:

- Wie sind die im Sommer 2018 gemessenen, ruckartigen Bewegungen und die Rückwärtsbewegungen am Pizzo Cengalo zu erklären und wie kritisch sind sie bezüglich Absturzprognosen und Ausgestaltung des Frühwarndienstes?
- Wie ist der alleinige Einfluss der Wassersättigung der vorhandenen Sturzablagerungen (d.h. ohne weitere Wasserquellen wie erodierter Gletscher usw.) auf die Schuttstromentwicklung (Eintritt und Grösse) bei einem erneuten Bergsturz zu beurteilen?
- Welche Nutzungen sind in der Val Bondasca angemessen? Wie ist die öffentliche und private Zuständigkeit dazu abzugrenzen und welche Kommunikationserfordernisse ergeben sich daraus?
- Welche Anteile der gesamten Risiken in Bondo sind mit i) baulichen, ii) planerischen und iii) organisatorischen Mitteln zu bewältigen und welche verbleibenden Risiken sind im Sinne der Nachhaltigkeit zu tragen und zu kommunizieren?

Zur Beantwortung solcher Fragen ist die «Praxis» immer wieder auf bestmögliche Erkenntnisse aus der Wissenschaft im Sinne dieses Forums für Wissen angewiesen.

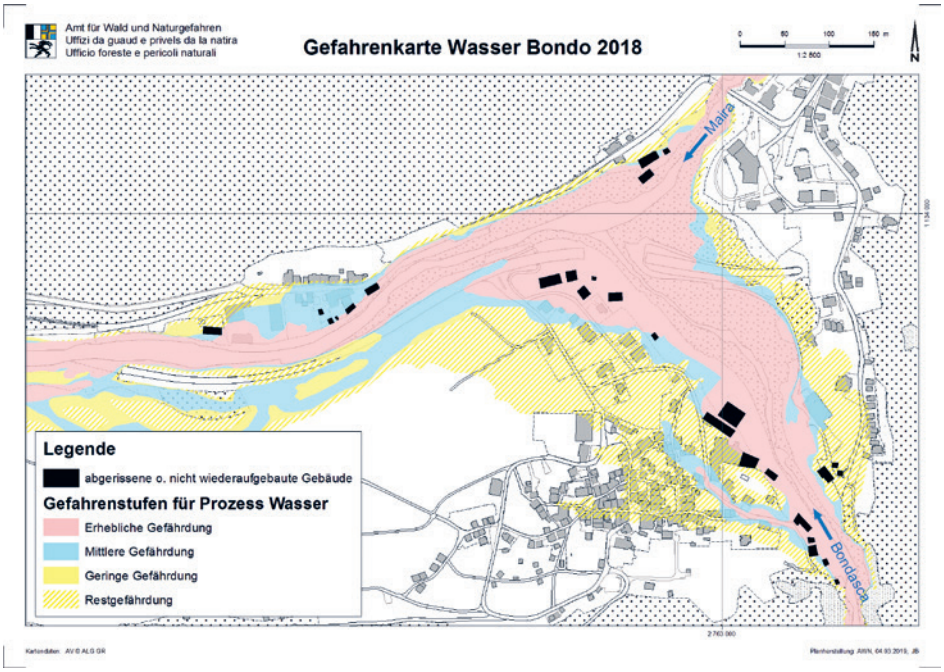


Abb. 18. Aktuelle Gefahrenkarte Wasser Bondo 2018 ohne Berücksichtigung der provisorisch wiederinstandgestellten Schutzbauten. Die Gefahrenbereiche sind durch die Bondasca und die Maira bedingt. Schwarz gekennzeichnet sind die Häuser, die infolge Totalschaden oder wegen Teilschaden und Platzbedarf für die neuen Schutzbauten abgerissen wurden oder ganz zerstört sind und nicht wiederaufgebaut wurden (Abb.: AWN).

Dank

Wir danken unseren Vorgesetzten Reto Hefti und Urban Maissen für die durchgehende Unterstützung und Martin Keiser und Jann Brosi für die Beiträge zu diesem Artikel.

6 Literatur

Amann, F.; Walter, F.; A.; Kenner, R.; Phillips, M.; de Preux, A.; Huss, M.; Tognacca, C.; Clinton, J.; Diehl, T.; Bonanomi , Y., 2019 (in review): Direct observation of massive rock slope collapse with initiation of almost immediate debris flow.

AWN (Hrsg.) 2017: Kurzbericht der Expertengruppe zu den Ereignissen Cengalo/Bondo für die Medienkonferenz vom 15.12.2017. Amt für Wald und Naturgefahren AWN, 7 S. unter: https://www.gr.ch/DE/institutionen/verwaltung/bvfd/awn/dokumentenliste_afw/20170828_Kurzbericht_Expertengruppe_20171215_dt.pdf, abgerufen am 15.02.2019.

Baer, P.; Huggel, C.; McArdell, B.W.; Frank, F., 2017: Changing debris flow activity after sudden sediment input: a case study from the Swiss Alps. Geol. Today 33, 6: 217–223.

BAFU (Hrsg.) 2016: Schutz vor Massenbewegungsgefahren. Vollzugshilfe für das Gefahrenmanagement von Rutschungen, Steinschlag und Hangmuren. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug. 1608: 98 S.

beffa tognacca gmbh 2018: Gefahrenbeurteilung Murgang & Hochwasser Val Bondasca/Maira. Bericht zur Gefahrenkarte Wasser. 129 S. unter: https://

www.gr.ch/DE/institutionen/verwaltung/bvfd/awn/aktuelles/Seiten/20170828_BergsturzCengalo.aspx, abgerufen am 04.03.2019

De Preux, A. 2014: Characterization of a large rock slope instability at Pizzo Cengalo (Switzerland): roles of structural predisposition and permafrost on stability, Master thesis, Department of Earth Sciences, ETH Zürich.

ETH Zürich 2017: Vadrec dal Cengal Ost: Veränderungen in Vergangenheit und Zukunft. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie VAW, 17 S. unter: https://www.gr.ch/DE/institutionen/verwaltung/bvfd/awn/aktuelles/Seiten/20170828_BergsturzCengalo.aspx, abgerufen am 04.03.2019

Gruner, U.; Louis, K.; McArdell, K., 2018: Bergstürze – Begriff, Ursachen und Einflussfaktoren, Prozessauslösung, Häufigkeit, Prozesskette und Umgang mit Bergsturzproblematik. Bull. Angew. Geol. 23/1: 7–18.

Hählen, N. 2018: Akute Gefahrensituationen – Entscheiden in besonderem Kontext. FAN Kursunterlagen, Herbstkurs 2018: Umgang mit akuten Gefahrensituationen. Fachleute Naturgefahren Schweiz FAN. 3–7.

Kenner, R.; Phillips, M., 2017: Fels- und Bergstürze in Permafrost Gebieten: Einflussfaktoren, Auslösemechanismen und Schlussfolgerungen für die Praxis. Schlussbericht Arge Alp Projekt, Einfluss von Permafrost auf Berg- und Felsstürze. 33 S. https://www.gr.ch/DE/institutionen/verwaltung/bvfd/awn/aktuelles/Seiten/20170828_BergsturzCengalo.aspx, abgerufen am 04.03.2019

Mani, P., 2016: Prozess- und Ereignisketten. FAN Kursunterlagen, Herbstkurs 2016: Veränderungen im Periglazial/Prozessketten. Fachleute Naturgefahren Schweiz FAN. 67–76.

Petrakov, D.A.; Chernomorets, S.S.; Evans, S.G.; Tutubalina, O.V., 2008: Catastrophic glacial multi-phase mass movements: a special type of glacial hazard. Adv. Geosci. 14: 211–218.

PLANAT (Hrsg.) 2004: Sicherheit vor Naturgefahren – Vision und Strategie. Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT, Reihe 1/2004, Bundesamt für Bauten und Logistik / BBL, Bern.

PLANAT (Hrsg.) 2013: Sicherheitsniveau für Naturgefahren. Bern, Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT. 15 S.

Sättele, M.; Bründl, M., 2015: Praxishilfe für den Einsatz von Frühwarnsystemen für gravitative Naturgefahren, WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Bundesamt für Bevölkerungsschutz/BABS, Bern.

Schmid, S.M.; Berger, A.; Davidson, C.; Giere, R.; Hermann, J.; Nievergelt, P.; Puschnig, A.R.; Rosenberg, C., 1996: The Bergell pluton (Southern Switzerland, Northern Italy): overview accompanying a geological-tectonic map of the intrusion and surrounding country rocks. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 76: 329–355.

SLF 2015: Einfluss des Hitzesommers 2015 auf Felsstürze, unter: https://www.slf.ch/de/permafrost/permafrost-und-naturgefahren/einfluss-des-hitzesommers-2015-auf-felsstuerze.html, abgerufen am 5.02.2019.

SLF 2018: Modellierung des Cengalo Bergsturzes mit verschiedenen Rahmenbedingungen. Gutachten G 2017.20, WSL Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, 68 S. unter: https://www.gr.ch/DE/institutionen/verwaltung/bvfd/awn/aktuelles/Seiten/20170828_BergsturzCengalo.aspx, abgerufen am 04.03.2019

Taleb, N.N., 2010: Der Schwarze Schwan – Die Macht höchst unwahrscheinlicher Ereignisse. Deutsche Gesamtausgabe, Pantheon 2018. 624 S.

Abstract

Rock fall Cengalo and Debris Flows Bondo: Insights from the Cantonal Authorities

Between 23 and 31. August 2017 Piz Cengalo produced a massive rock fall, a dryer and more than 10 wet debris flows, which reached Bondo in the valley. This sequence of events was special in the sense that the three million metre cube rockfall transformed instantaneously into a massive debris flow, which globally has been very rarely observed previously. The rockfall left eight hikers missing. The debris flows brought in total 500'000 metres cube of material into the inhabited valley and caused serious damage on buildings and other infrastructure.

Two year after the event serious uncertainties remain regarding the causes and interconnections of the events. Available water in the trigger, the fall/slide and the deposit areas of a previous rock fall should have played a major role. This raised questions on the role of melting snow and ice and its connection to climate change. Such possible interconnections currently undergo careful scientific investigations.

We present insights on monitoring, risk assessment and post-event management from the view of the cantonal authorities. The multiple challenges show that it needs a well-coordinated team effort of federal, cantonal and municipal players to successfully manage such an extreme event.

Keywords: rock fall, debris flows, interconnections, Cengalo, Bondo, extreme events, risk assessment, post-event management