

Murgänge im Dorfbach von Randa (VS)

Autor(en): **Zimmermann, Markus**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **86 (1994)**

Heft 1-2

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-940765>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Murgänge im Dorfbach von Randa (VS)

Beurteilung und Massnahmen

Markus Zimmermann

Zusammenfassung

Murgänge im Dorfbach von Randa wurden erst durch die morphologischen Veränderungen infolge des Bergsturzes vom Frühjahr 1991 als kritisch für das Dorf Randa erkannt. Eine Analyse der Prozesse lieferte Grundlagen für die Verminderung der Murganggefährdung in diesem Bach. Murgänge von etwa 30 000 m³ sind zu kontrollieren. Erstmals in der Schweiz wurde der Bach mit einer japanischen Murbremse verbaut. Ein Murgang am 24. September 1993 zeigte, dass sich diese bewährt.

Résumé: Coulées de lave torrentielle dans le Dorfbach de Randa

C'est depuis l'éboulement du printemps 1991 que les coulées de lave torrentielle se déversant dans le Dorfbach de Randa sont devenues plus dangereuses. Une analyse des dangers naturels a fourni les données de base qui pourront servir à diminuer les risques provoqués par les coulées de lave torrentielle. Un volume de 30 000 m³ environ doit être contrôlé. Pour la première fois en Suisse, une grille japonaise, dont le rôle est de freiner les coulées de lave torrentielle, a été réalisée. La coulée du 24 septembre 1993 a prouvé que le fait d'obstruer le passage par des constructions était la solution adéquate.

Summary: Debris flows in the Randa Dorfbach

Since the 1991 rock avalanche the danger of debris flows in the Dorfbach of Randa changed drastically. An analysis of the debris flow hazards served as a basis for the evaluation of countermeasures. Debris flows of about 30 000 m³ are probable. To control such a volume a Japanese-type debris flow breaker was implemented. The September 1993 debris flow proved the hazard mitigation concept to be successful.

1. Ausgangslage

In den Walliser Seitentälern gehören Murgänge zu den dominanten Massenverlagerungsprozessen und bedeuten durch ihr plötzliches Auftreten eine erhebliche Gefahr für die Bewohner dieser Täler (BWW 1991). Solche Murgänge sind schnell fliessende Gemische aus Steinen, Erdreich und Wasser. Sie hinterlassen in der Landschaft klar erkennbare Spuren. Im Frühjahr 1991 kam das Dorf Randa (Bild 1), das auf einem der grössten Murkegel im Mattertal liegt, durch den Bergsturz in die Schlagzeilen. Etwa 30 Millionen m³ Gesteinsmaterial blockierten das Haupttal. Im Bereich der Mündung des Dorfbaches von Randa war das Tal etwa 30 m aufgefüllt. Innerhalb von wenigen Monaten wurde durch diese Ablagerungen hindurch ein neues Gerinne für die Vispa gebaggert (Götz und Zimmermann 1993). Wegen der wesentlich höheren Sohlenlage und der reduzierten Geschiebetransportkapazität der Vispa konnten zwei Murgänge aus dem Dorfbach (am 16. Juni und am 8. August 1991) den noch nicht ganz fertigen Kanal verstopfen. Die gestaute Vispa überschwemmte in der Folge Teile des Dorfes Randa.

Um in Zukunft solche Überschwemmungen zu verhindern, wurde ein Umleitstollen für die Vispa geplant. Mass-

nahmen im Dorfbach, die noch vor der Hochwassersaison 1992 ausgeführt wurden, sollten kurzfristig diese Gefahr reduzieren. Dabei kam erstmals in der Schweiz ein japanischer Verbauungstyp zur Anwendung. Vorliegender Aufsatz beleuchtet die Gefahrenbeurteilung und die Massnahmenplanung im Dorfbach.

2. Zielsetzung

Die Murgänge aus dem Dorfbach sollten in Zukunft nicht mehr zu einer Verstopfung der Vispa und zu der damit verbundenen Überschwemmung des Dorfes Randa führen. Die vor der Massnahmenplanung in Angriff genommenen Untersuchungen im Dorfbach hatten die folgenden Fragen zu beantworten:

1. Welches sind die entscheidenden Prozesse im Dorfbach und welche Charakteristika weisen sie auf?
2. Mit welchen Massnahmenkonzepten können die Schutzziele erreicht werden und welche Bauwerke sind dazu notwendig?
3. Auf welche Ereignisse müssen die gewählten Bauwerke dimensioniert werden?

Die zur Beantwortung der gestellten Fragen verwendeten Methoden und die wichtigsten Resultate sind im folgenden kurz diskutiert (vgl. auch Zimmermann 1993).

3. Beurteilungsgrundlagen

Recht häufig werden Verbauungen in der Folge eines Hochwassers oder Murganges realisiert. Dabei basiert man oft auf der Grösse eben dieses Ereignisses. Die Analyse

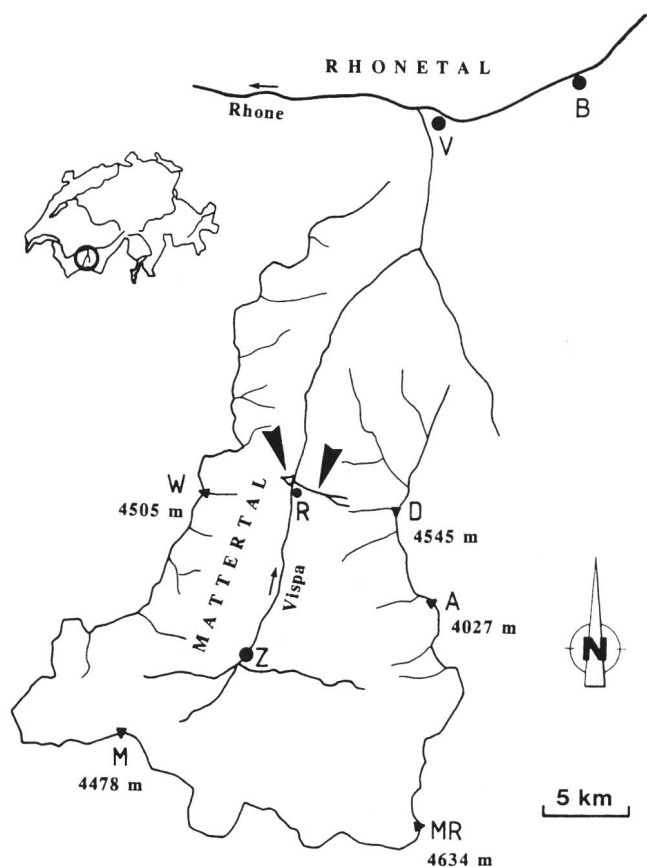


Bild 1. Mattertal (VS). Die Pfeile markieren den Dorfbach (rechts) und den Bergsturz (links). R: Randa, B: Brig, V: Visp, Z: Zermatt; D: Dom, A: Allalinhorn, MR: Monte Rosa, M: Matterhorn, W: Weisshorn (Höhen in m ü. M.).

von abgelaufenen Ereignissen allein genügt jedoch für eine fundierte Beurteilung eines komplexen Prozesses, wie dies Murgänge sind, meistens nicht. Es müssen ergänzende Abklärungen, wie sie z. B. *Hungr et al.* (1984) oder *Kienholz* (1981) vorschlagen, getroffen werden.

Geomorphologischer Ansatz

Diese Methode basiert auf einer Analyse des Einzugsgebiets (Geschiebepotential, Spuren von vergangenen Ereignissen) sowie auf einer detaillierten Beurteilung von «Stummen Zeugen» (*Aulitzky* 1984) auf der Kegeloberfläche. Die Resultate lassen sich wie folgt zusammenfassen: Der Dorfbach ist ein ausgesprochen murfähiger Wildbach mit einem Einzugsgebiet von 5,4 km² (44% sind vergletschert). Das Gerinne ist sehr steil; auch auf dem Kegel beträgt das Gefälle noch etwa 25%. In den letzten Jahrzehnten oder Jahrhunderten müssen sich eher kleine Murgänge von wenigen 10 000 m³ ereignet haben. Generationen von frischen Levees (seitliche Wälle) belegen eine hohe Aktivität. Auf dem Kegel herrschte in der letzten Zeit eher eine Tendenz zur Erosion. Das Gerinne ist teilweise mehrere Meter in den Kegel eingeschnitten. Die Kegeloberfläche selber zeigt klassische Murgangspuren: konvexe, unruhige Form, Levees, Murzungen, verstreut grosse Blöcke.

Im Einzugsgebiet können in verschiedenen Flächen Murgänge losbrechen. Eine hohe Wahrscheinlichkeit haben Murgänge mit progressiver Erosion und Kubaturen von 10 000 bis 20 000 m³. Teile des Schuttes sind heute noch gefroren (Permafrost). Bei weitergehendem Temperaturanstieg verschwindet der Permafrost langsam. Dadurch ändern sich die geotechnischen Eigenschaften des Schuttes drastisch (*Zimmermann und Haerberli* 1992). In Zukunft können dadurch Murgänge mit rückschreitender Erosion und Volumen von etwa 100 000 m³ entstehen.

Ingenieurmässige Abschätzung

Allgemeingültige Ansätze zur Abschätzung von Murgangparametern stehen heute kaum zur Verfügung. Es existieren aber einige brauchbare Faustformeln. Für den Dorfbach war die Abschätzung des totalen Murvolumens von besonderem Interesse. Eine Formel zur Abschätzung des Volumens basiert auf dem Kegelgefälle (*VAW* 1992).

$$M = (110 - 2,5 J_k) L \quad (1)$$

wobei M das totale Murvolumen [m³], J_k in [%] das Kegelgefälle und L die aktive Gerinnelänge [m] bedeutet. Mit den Werten für den Dorfbach erhält man ein Volumen von 150 000 m³. Ähnliche Ansätze wie (1) von anderen Autoren

(z. B. *Hungr et al.* 1984, *Kronfellner-Kraus* 1982) ergeben Volumen von 30 000 bis 250 000 m³.

Aus Abflussspuren entlang der Kurve eines Gerinnes lässt sich mit der einfachen Beziehung die Geschwindigkeit v bestimmen:

$$v = (g R \tan \beta \cos J)^{0,5} \quad (2)$$

wobei v in [m/s] angegeben, der Winkel β der Kurvenüberhöhung und das Bachgefälle J in [°] und der Kurvenradius R in [m] gemessen wird (g : Erdbeschleunigung). Messungen an zwei Stellen ergaben mit (2) Geschwindigkeiten von 5 bis 7 m/s.

Eine Beziehung zur Abschätzung des maximalen Abflusses eines Murganges stellten *Mizuyama et al.* (1992) auf

$$Q_{\max} = 0,135 V^{0,78} \quad (3)$$

Dabei ist Q_{\max} [m³/s] der Spitzenabfluss eines grobkörnigen Murgangs und V [m³] das Totalvolumen. Bei den Murgängen im Jahre 1991 und 1992 wurden Spitzenabflüsse von 200 und 150 m³/s geschätzt. Die mit (3) berechneten Werte ergaben ein Q_{\max} von 240 und 70 m³/s bei Volumen von 15 000 bzw. 3000 m³. Für ein Volumen von 100 000 m³ würde ein Spitzenabfluss von >1000 m³/s resultieren.

Historische Analyse

Mit einer Auswertung von historischen Dokumenten wurde versucht, die Murgänge soweit zurück als möglich zu erfassen (z. B. *Lanz-Stauffer und Rommel* 1936). Da die Murgänge im Dorfbach bis 1991 meist ohne Schaden anzurichten in die Vispa gelangten, sind Dokumente spärlich. Es konnte aber gezeigt werden, dass das Dorf in den letzten 250 Jahren nie direkt durch Murgänge betroffen war. Für das 20. Jahrhundert sind einige Ereignisse dokumentiert: z. B. eines im Jahre 1935, das etwa 15 000 bis 25 000 m³ Material zwischen Kote 1440 und 1510 m abgelagert hatte. Die BVZ-Bahn wurde in diesem Jahrhundert durch den Dorfbach nur zweimal unterbrochen. In den letzten drei Jahren haben dann mehrere Ereignisse Probleme verursacht, nachdem sich durch den Bergsturz die Situation unten am Kegel wesentlich verändert hatte: Am 16. Juni und am 8. August 1991 verursachten zwei Murgänge eine Verklausung des neuen Vispagerinnes. Das Volumen des zweiten Ereignisses betrug 10 000 bis 15 000 m³. Der Murgang vom 2. Juni 1992 lagerte 2000 bis 3000 m³ im Gerinne und unten an der Vispa ab. Eine einmalige Serie von Photos, aufgenommen durch *J. Summermatter* (Randa), dokumentiert diesen Murgang (Bilder 2 und 3).



Bilder 2 und 3: Murgang vom 2. Juni 1992 im Dorfbach von Randa. Deutlich erkennbar ist die grobblockige Murenfront. Zwischen den beiden Aufnahmen liegen 3 bis 5 Sekunden (Aufnahme: *J. Summermatter*, Randa, 2. Juni 1993).

4. Murganggefährdung

Die Resultate aus den verschiedenen Analysen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die wichtigsten geschiebeverlagernden Prozesse im Dorfbach sind Murgänge. Sie treten zwischen Juni und September auf.
- Kleine Murgänge (bis einige 1000 m³) sind alle 3 bis 5 Jahre zu erwarten.
- Lediglich ein mittlerer Murgang (einige 10 000 m³) wurde aufgezeichnet. Es dürften in diesem Jahrhundert aber mehrere solche Murgänge aufgetreten sein.
- Es gibt keine Hinweise, dass sich in den letzten Jahrhunderten grosse Murgänge ereignet hätten. In der Periglazialzone ist jedoch genügend Schutt vorhanden, um Ereignisse zu verursachen, die keine historische Parallele haben.
- Der Murgang fliesst in mehreren Schüben ab. Die dabei auftretenden Abflussspitzen sind um einen Faktor 10 bis 20 grösser als das Q_{max} der «normalen» Hochwasserabflüsse.

Aufgrund der Resultate sind zwei Referenzereignisse vorstellbar: Ein Murgang mit einer Auftretenswahrscheinlichkeit von 0,1 bis 0,05 (10- bis 20jährlich) vermag etwa 30 000 m³ Schutt mit mehreren Schüben auf den Kegel zu transportieren. Die Geschwindigkeit auf dem Kegel dürfte etwa 5 m/s betragen und der maximale Abfluss 200 bis 300 m³/s erreichen. Ein solcher Murgang wird momentan dem Gerinne auf dem Kegel folgen. Ein mögliches Murgangerignis könnte bei fortschreitender Degradierung des Per-

mafrosts ein Volumen von etwa 100 000 bis 150 000 m³ aufweisen. Das Verhalten eines solchen Ereignisses auf dem Kegel ist schwierig abzuschätzen. Ablagerungen im oberen Kegelbereich und ein Ausbrechen gegen links wären möglich. Damit wäre das Dorf direkt gefährdet. Die Grundlagen zur Abschätzung dieser Gefahr sind zurzeit noch ungenügend.

5. Massnahmenkonzepte und ausgeführte Bauwerke

Die Verminderung des Risikos einer neuerlichen Verklauung und Überschwemmung musste sich nach dem ersten Referenzereignis richten. Das zweite Referenzereignis diente nicht als Bemessungsgrundlage. In diesem Falle wäre eine Überschwemmung durch die Vispa für das Dorf Randa wohl ein sekundäres Problem. Basierend auf diesem ersten Referenzereignis wurden die folgenden Konzepte diskutiert:

Null-Lösung

Ein Murgang von 15 000 bis 30 000 m³ kann den neuen Vispakanal zwischen 5 und 8 m hoch verstopfen; genug um eine Überschwemmung des unteren Dorfteils zu bewirken. Die Auftretenswahrscheinlichkeit liegt bei etwa 0,05, d. h. das Risiko, schon im nächsten Jahr durch so ein Ereignis getroffen zu werden, kann nicht vernachlässigt werden. Zudem besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass ein Murgang im Dorfbach und ein Hochwasser in der Vispa gleichzeitig auftreten. Die Gemeinde wollte diese Risiken bis zur Fertigstellung des Umleitstollens nicht eingehen.

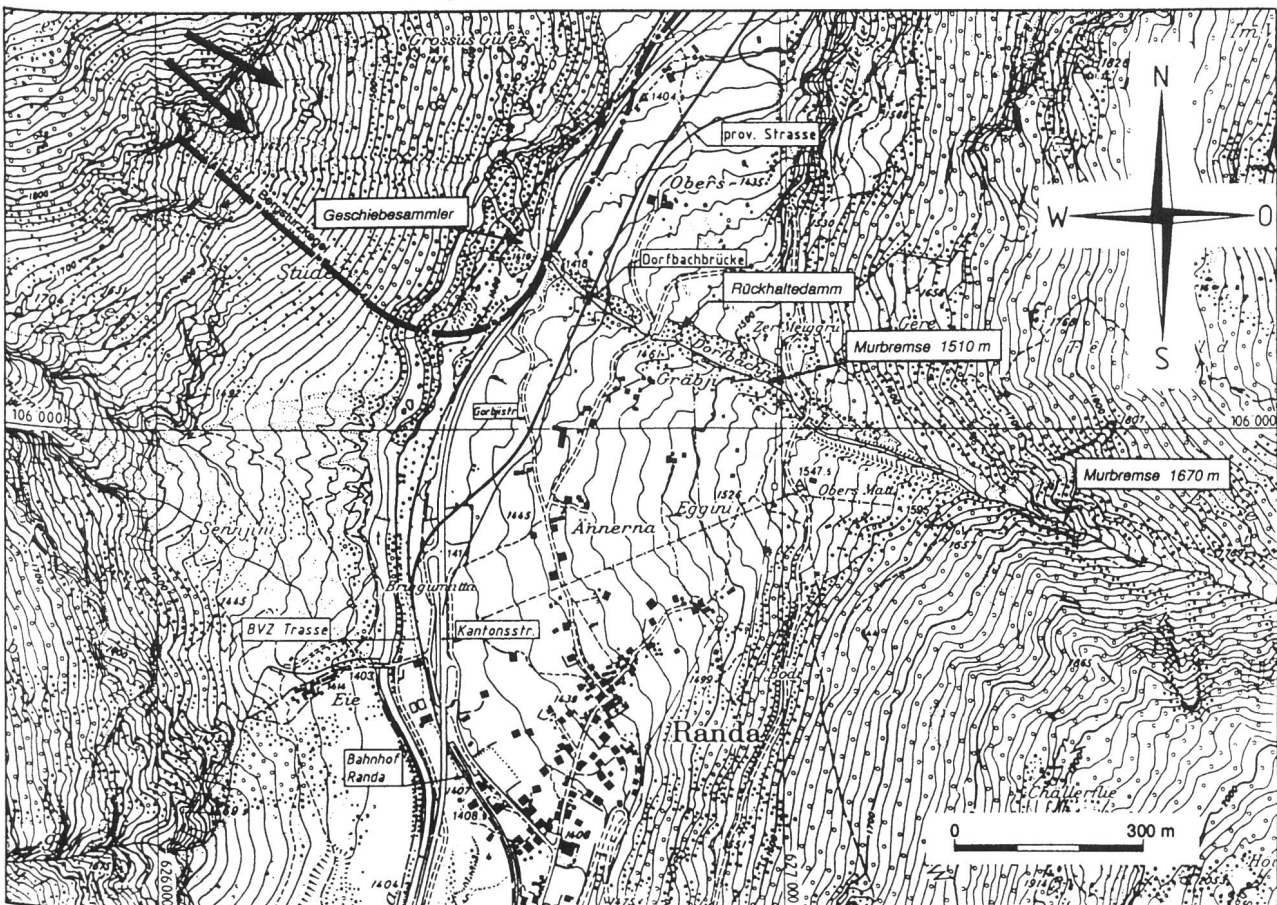


Bild 4: Murgangverbauungen im Dorfbach von Randa, Situation. Die Murbremse auf 1510 m (horizontaler Rost) mit dem Rückhaltedamm kann etwa 12 000 m³, der Geschiebesammler an der Mündung etwa 15 000 m³ zurückhalten. Die Murbremse auf 1680 m (Schlitzdamm) wurde wegen unsicheren Verhaltens im Lastfall nicht ausgeführt.

Passive Massnahmen

Passive Massnahmen wie das Ausscheiden von Gefahrenzonen oder die Installation eines Warnsystems können eine Verklauung der Vispa nicht verhindern. Mittelfristig müssten jedoch für Randa auch passive Massnahmen geprüft werden.

Aktive Massnahmen

Aktive Massnahmen können, ähnlich wie gegen Schneelawinen, im Ursprungsgebiet, entlang des Fliessweges oder im Ablagerungsgebiet von Murgängen vorgesehen werden. Im Dorfbach kamen wegen der Gefällsverhältnisse im Gerinne und der Grösse der Anrissgebiete nur Bauwerke in den untersten Abschnitten (Kegelhals, Kegel) in Frage. Bei der Evaluation der verschiedenen Bauwerke konnte teilweise auf japanische Erfahrungen für Murgangverbauungen zurückgegriffen werden (z. B. Yazawa et al. 1986).

Das Ablenken eines Murganges auf die rechte, unbewohnte Kegelseite wurde geprüft, aber wegen des unsicheren Verhaltens bei einem grossen Murgang verworfen. Aus gleichem Grund wurde ein Ablagerungsbecken auf der Höhe 1530 m (oberste Brücke) abgelehnt. Folgende Bauwerke wurden detaillierter geprüft (Bild 4): Eine Murbremse in der Engstelle auf 1680 m, eine Murbremse auf etwa 1510 m und ein Geschieberückhaltebecken an der Mündung in die Vispa. In der Folge wurde eine Kombination von zwei Bauwerken realisiert. Ein horizontaler Stahlrost (Eisenbahnschienen) am Ende einer leichten Rechtskurve sollte einen ersten grossen Schub durch die Entwässerung des Murkopfes abbremsen und nachfolgendes Material zur Ablagerung bringen (Bild 5). Für weitere grosse Schübe wurde ein Ablagerungsraum rechts unterhalb der Murbremse mit einem Damm abgeschlossen (Bild 6). Mit diesem Konzept sollten etwa 12 000 bis 15 000 m³ Geschiebe zurückgehalten und die unterliegenden Eisenbahn- und Strassenbrücken vor dem ersten, meist grössten Schub, geschützt werden. Das in der Mündung erstellte Geschieberückhaltebecken mit einem aus Blöcken aufgebautem Damm parallel zur Vispa kann maximal eine etwa gleich grosse Geschiebemenge zurückhalten. Die Murbremse in der Engstelle (Schlitzdamm aus Stahlelementen) wurde nicht erstellt. Es bestand die Möglichkeit, dass im Falle eines Versagens der Stahlstruktur ein Murgang unterhalb stoppen und anschliessend gegen links auf das Dorf zu ausbrechen könnte.

Mit der Kombination von Murbremse und Rückhaltebecken können etwa 25 000 bis 30 000 m³ Geschiebe kontrolliert werden. Eine direkte negative Auswirkung der Strukturen konnte auch im Falle eines vollständigen Versagens ausgeschlossen werden. Um die Funktion des Bauwerkes im Lastfall zu überwachen, wurde eine Videokamera mit Fernauslösung installiert.

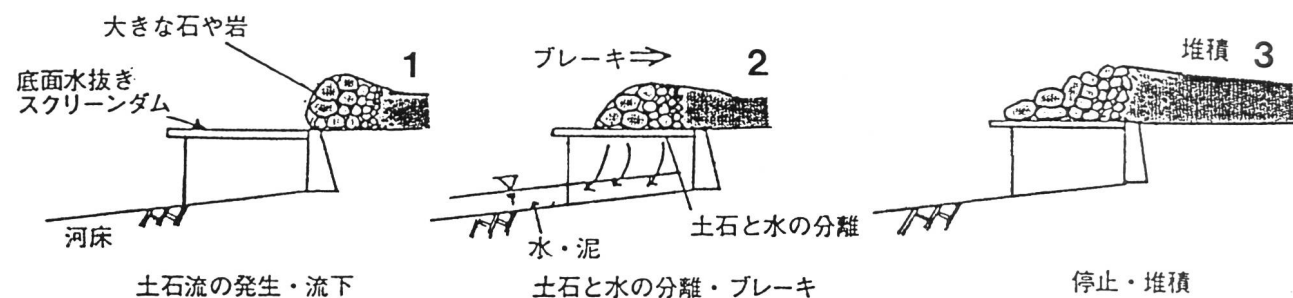


Bild 5: Prinzipskizze einer Murbremse.

1. Der Murgang fährt mit der ausgeprägten, grobblockigen Murenfront auf den Rost.

6. Der Murgang vom 24. September 1993

Bereits während des Baus der Murbremse, am 2. Juni 1992, ereignete sich ein kleinerer Murgang. Hohe Niederschläge in der zweiten Hälfte September 1993 (innerhalb von 3 Tagen – vom 22. bis 24. – fielen in Visp 87 mm, in Grächen 116 mm und in Zermatt 104 mm Regen) verursachten nicht nur die Katastrophe in Brig, sondern lösten auch zahlreiche Murgänge im Mattertal aus. Im Dorfbach trat ein erster Murschub am 24. September gegen 16.30 Uhr auf. Mit einer Geschwindigkeit von 3 bis 5 m/s und einem Spitzenabfluss von etwa 140 m³/s schob sich die Front auf die Murbremse und kam nach etwa 7 m bereits zum Stillstand (Bild 7). Die wirkungsvolle Entwässerung des Murganges zeigte sich im Videofilm durch einen Schwall Wasser, der unten aus dem Bauwerk austrat. Auf und unmittelbar oberhalb des Rostes wurden etwa 1500 m³ Geschiebe abgelagert. Innerhalb von 4 Minuten folgten drei weitere kleinere Schübe, die die bestehende Akkumulation auf der linken Seite umflossen. Die Videoaufzeichnung belegt eine langsame Geschwindigkeit von lediglich 2,2 bis 3,5 m/s. Mit einem Fliessquerschnitt links vom Rost von 12 m² und einer Geschwindigkeit von 3,5 m/s (gemessen im Video und im Feld aus einer Kurvenüberhöhung) resultiert für die Folgeschübe eine Abflussspitze von etwa 40 m³/s. Nach 1,5 Stunden ereignete sich ein fünfter Schub. Im Sammler unten an der Mündung in die Vispa lagerten sich 4000 bis 5000 m³ primär feineres Material ab.

Das Herkunftsgebiet war wegen Schnees nicht zu bezeichnen. Aufgrund des isolierten letzten Schubes ist aber nicht auszuschliessen, dass zwei unabhängige Anrissgebiete aktiv waren. Die Murgänge waren auch noch auf dem Kegel erosiv. Eine Tiefenerosion von bis zu 2 m wurde am Kegelhals (1650 m) beobachtet.

Die Bauwerke hielten gesamthaft etwa 6000 m³ Geschiebe zurück. Der Geschieberückhalteraum unmittelbar rechts unterhalb der Murbremse wurde nicht in Anspruch genommen. Die Geschwindigkeit der Murschübe in der Kurve war vermutlich zu gering, um ein Umfliessen auf der rechten Seite und ein Ausbrechen zu ermöglichen. In die Vispa gelangte kein Geschiebe.

7. Schlussfolgerungen

Für die Beurteilung der Murganggefahr fehlen bis heute einfache und allgemeingültige Kriterien, obschon Murgänge in den Hochgebirgsregionen weit verbreitet sind und gerade in einem dicht besiedelten Gebiet wie den Schweizer Alpen eine wesentliche Bedrohung darstellen. Die immer noch bescheidene Kenntnis mag an der Komplexität und Vielgestaltigkeit dieses Prozesses liegen.

In Randa wurden Murgänge im Dorfbach bis 1991 kaum wahrgenommen. Erst mit dem Bergsturz war eine Gefähr-



Bild 6, links: Murgangsbremse (horizontaler Rost): Länge 19 m, Breite 12 m. Bachabwärts ist der Rückhaltedamm zu erkennen (Pfeil). Photo vom 30. April 1993



Bild 7, rechts: Ablagerungen der grobblockigen Murenfront auf dem Rost (Murgang vom 24. September 1993, Aufnahme 25. September 1993).

dung des Dorfes möglich; allerdings lediglich indirekt durch einen Aufstau der Vispa. Mit technischen Mitteln liess sich diese Gefahr vermindern. Das Verbauungskonzept hat sich bei Murgängen im Juni 1992 und September 1993 bewährt. Die Analyse des Einzugsgebiets hat aber auch verdeutlicht, dass in Zukunft in Randa Murgangereignisse auftreten könnten, die keine historische Parallele haben. Bei weitergehenden Veränderungen im Herkunftsgebiet sind grosse Murgänge möglich, die das Dorf direkt treffen könnten. Diese Gefahr muss letztlich aber wesentlich höher eingeschätzt werden als eine neuerliche Überschwemmung des Dorfes durch die Vispa.

Die sorgfältige Überwachung von potentiellen Murgangsanrissgebieten sollte Veränderungen frühzeitig aufzeigen, damit geeignete Massnahmen ergriffen werden können. Untersuchungen im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms (NFP31) gehen in diese Richtung, zeigen aber auch, dass noch grosse Lücken bei der Beurteilung des Phänomens «Murgang» bestehen. Die Analyse abgelaufener Ereignisse (Dokumentation, Rekonstruktion) kann wesentliche Hinweise über den Ablauf der Prozesse im betrachteten Bach geben. Weitere Videoaufnahmen über den Prozessablauf wären dabei ausserordentlich wertvoll, wie sich dies im Dorfbach gezeigt hat. In der Schweiz besteht auch diesbezüglich noch ein wesentlicher Nachholbedarf.

Dank

Die statische Berechnung der Bauwerke erfolgte durch *D. Bommer* (Ing.-Büro Lauber & Kronig, Zermatt). Die Videoanlage hat *G. Schlappbach* (AGS Control Bern) eingerichtet, und *P. Conconi* (Gemeinderat von Randa) hat sie regelmässig gewartet. PD Dr. *H. Kienholz*, *H. P. Willi*, Dr. *D. Rickenmann* und *P. Mani* sei für kritische Diskussionen während der Arbeit bestens gedankt.

Literatur

- Aulitzky, H.*, 1984: Vorläufige, zweigeteilte Wildbachklassifikation. «Wildbach- und Lawinerverbau», *Jg. 48*, Sonderheft Juni 1984, p. 7–60.
- BWW (Hrsg.), 1991: Ursachenanalyse der Hochwasser 1987: Ergebnisse der Untersuchungen: Murgänge. Mitt. BWW Nr. 4.
- Götz, A., Zimmermann, M.*, 1993: The 1991 rockslides in Randa: causes and consequences. «Landslide News», No. 7, Japan Landslide Society, Tokyo.
- Hungr, O., Morgan, G. C., Kellerhals, R.*, 1984: Quantitative analysis of debris torrent hazards for design of remedial measures. «Can. Geotechnical J.», vol. 21, p. 663–677.
- Kienholz, H.*, 1981: Zur Methodologie der Beurteilung von Naturgefahren. Geomethodica – Veröffentlichungen des 6. Basler Geomethodischen Colloquiums.
- Kronfellner-Krauss, G.*, 1982: Über den Geschiebe- und Feststofftransport in Wildbächen. «Österr. Wasserwirtschaft», 34, 1/2, p. 12–21.
- Lanz-Stauffer, H., Rommel, C.*, 1936: Elementarschäden und Versicherung, Vol. 2. Bern.
- VAW, 1992: Murgänge 1987 – Dokumentation und Analyse. Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Wasserwirtschaft (unveröff.). VAW, ETH Zürich, Bericht Nr. 97.6.
- Yazawa, A., Mizuyama, T., Morita, A.*, 1986: Experiments and analysis on «debris flow breaker» screen. Technical Memorandum of PWRI No. 2374, Ministry of Construction, Japan (in Japanese).
- Zimmermann, M., Haeblerli, W.*, 1992: Climatic change and debris flow activity in high-mountain areas. A case study in the Swiss Alps. «Catena Suppl.» Vol. 22, 59–72.
- Zimmermann, M.*, 1993: Assessment and mitigation of debris flow hazards in a changing environment. FEANI-Symposium, September 1993, Lausanne.

Adresse des Autors: Dr. *Markus Zimmermann*, Geo7, Geowissenschaftliches Büro, Neufeldstrasse 3, CH-3012 Bern.