Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 113 (1995)
Heft: 48

Artikel: Beurteilung von Murgängen
Autor: Rickenmann, Dieter
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-78817

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.01.2026

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

Dieter Rickenmann, Birmensdorf

Beurteilung von Murgängen

Wie bei den starken Unwettern vom Sommer 1987 treten Murgänge häufig im Zusammenhang mit extremen Niederschlagsverhältnissen auf. Murgangereignisse können vor allem auf überbauten Wildbachkegeln oder bei einer Geschiebeüberlastung des Vorfluters zu grösseren Schäden führen. Wegen der Komplexität der Prozesse sind Murgänge bisher nur bedingt quantitativ erfassbar. Im folgenden wird versucht, den Stand der Kenntnisse aus der Sicht der praxisgerechten Anwendung zusammenzufassen.

In den Alpenregionen stellen Murgänge (Geröllawinen oder «Rüfen») ein bedeutendes Gefahrenpotential dar. Sie treten vor allem in alpinen Schutthalden und in Wildbachgerinnen auf. Murgänge sind ein rasch bewegtes Wasser/Gestein-Gemisch. Hinsichtlich der Materialzusammensetzung liegen sie zwischen den verwandten Erscheinungen Erdrutschen oder Felsstürzen mit überwiegendem Gesteinsanteil und Hochwassern in einem Wildbach oder Fluss mit überwiegendem Wasseranteil. Murgänge sind charakterisiert durch das wellenförmige, schubartige Abflussverhalten: An der steilen Murenfront sind viele Feststoffe konzentriert, während der nachfolgende Abfluss meist flüssiger ist und eine geringere Abflusstiefe aufweist. Der Abfluss von Murgängen kann mit dem Fliessvorgang von Nassschneelawinen verglichen werden; die Ablagerungen auf dem Kegel der Val Varuna im Puschlav illustrieren diese Analogie sehr deutlich (Bild 1a, b). Der lawinenartige Fliessvorgang bei Murgängen lässt erahnen, dass solche schnell bewegten Geröllmassen ein grosses Zerstörungspotential aufweisen.

Detailliertere Angaben zum Phänomen Murgang sowie eine ausführliche Beschreibung einzelner Ereignisse des Jahres 1987 finden sich in Haeberli et al. [1], in VAW [2] sowie in Rickenmann [3]. Bei den Unwetterereignissen im Sommer 1987 wurde ein grosser Anteil der Schäden durch die extreme Geschiebeführung von Wildbächen verursacht. In jüngerer Zeit ereigneten sich grössere Murgänge im Bavonatal (1992), im Mattertal (Rittigraben, 1993) sowie in Simplon-Dorf (Lowigrabu, 1994).

Die folgende Zusammenstellung soll einen Überblick geben über die wichtigsten Kriterien zur Beantwortung der Frage, ob ein Wildbach murfähig ist, und über die rechnerischen Ansätze, mit welchen die Grössenordnung der wichtigsten Murgang-Parameter abgeschätzt werden kann. Die Kenntnis der bei einem Ereignis zu erwartenden Geschiebefracht (Feststoffpotential) ist neben dem - einfacher zu bestimmenden - Gerinnegefälle die wichtigste Grundlage zur Beurteilung der Murgang-Gefährdung. Entstehung, Ablauf und Ablagerung von Murgängen sind komplexe Prozesse, die bis jetzt nur bedingt quantifizierbar sind. Daher soll eine Beurteilung nicht anhand von Formeln allein, sondern in Kombination mit einer geomorphologischen Untersuchung des Einzugsgebietes erfolgen. Dies gilt insbesondere auch für die Abschätzung des Geschiebepotentials und für die Erarbeitung allfälliger Schutzmassnahmen oder Sanierungsvorschläge.

Beurteilung der Murfähigkeit

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf ein Wildbachgerinne in unverbautem, natürlichem Zustand. Der Einfluss von Verbauungen auf die Murganggefährdung wird weiter unten diskutiert; eine Quantifizierung dieses Einflusses ist allerdings kaum möglich.

Bachgefälle und Feststoffpotential

Ein minimales Bachgefälle und ein genügend grosses Geschiebepotential sind die notwendigen Voraussetzungen, dass überhaupt Murgänge auftreten können. Diese beiden Faktoren sind auch die wichtigsten Kriterien zur Beurteilung des Gefährdungspotentials eines Wildbaches.

Für die Bildung eines Murganges aus dem Gerinnebett oder aus einem Hang heraus beträgt das Mindestgefälle ca. 25 bis 30%. Bei Vorhandensein weiterer, die Murgangentstehung fördernder Faktoren (z.B. Engstellen, Wildholz) kann sich ein Murgang aber auch bei Gefällen von ca. 15 bis 25% bilden. Bei Bachgefällen unter 15% ist die Entstehung von Murgängen nicht zu erwarten.

Grössere Mengen an mobilisierbaren Feststoffen können grundsätzlich als Ablagerungen im Bachbett (z.B. auch hinter Wildholzablagerungen oder grossen Blöcken) oder in rutschgefährdeten Seitenhängen vorhanden sein. Bei den grösseren untersuchten Murgangereignissen des Sommers 1987 zeigte sich, dass rund zwei Drittel der gesamten Murenfracht aus Tiefen- und Seitenerosion im gerinnenahen Bereich stammte. Das Geschiebepotential im Gerinnebereich kann aufgrund der vermuteten Mächtigkeit der Lockermaterialablagerungen abgeschätzt werden, wobei für genauere Aussagen allenfalls geophysikalische Messungen durchgeführt werden müssen. Rutschgefährdete Seitenhänge tragen während eines Murgangereignisses weniger stark zur Murenfracht bei als die gerinnenahen Lockermaterialien. Das Feststoffpotential der Seitenhänge ist hingegen von grosser Bedeutung für die Geschiebenachlieferung ins Gerinne, welche auch zwischen den Ereignissen erfolgen kann. Ausführliche Angaben zur geomorphologischen Abschätzung des Feststoffpotentials und zur Frage von Hanganbrüchen sind in einem Handbuch zusammengestellt [4].

Aufgrund der Analyse der Murgänge 1987 in den Schweizer Alpen [1] sowie in Anlehnung an eine halb-quantitative Beurteilung der Murganggefährdung nach Aulitzky [5] und Nakamura [6] kann mit den beiden wichtigsten Kriterien Bach-/Hanggefälle sowie Feststoffpotential eine Klassifizierung des Murgangpotentials gemäss Tabelle 1 gemacht werden. Dabei ist unter dem Bach- bzw. Hanggefälle ein mittlerer Wert in einem Abschnitt mit möglicher Murgangentstehung zu verstehen. Das Feststoffpotential F bezieht sich auf das bei einem Ereignis maximal mobilisierbare Lockermaterial vom Anrisspunkt bis zum Ablagerungsort. Die Gefährdungsklassen entsprechen einer Mischung aus wahrscheinlicher Intensität der Ereignisse und möglicher Häufigkeit des Auftretens. Die Aussage bezieht sich jedoch primär auf die zu erwartende maximale Intensität eines Ereignisses. Infolge des grossen Feststoffpotentials und des grossen Gefälles können bei der Gefährdungsklasse A zum Beispiel auch kleinere Murgänge auftreten, was insgesamt zu einer grösseren Häufigkeit führt als etwa bei Klasse C, wo nur kleinere Murgänge zu erwarten sind. Die Bedeutung der Gefährdungsklassen kann wie folgt angegeben werden:

A1: stark murganggefährdet
A2: murganggefährdet
B : schwach murganggefährdet
C : kaum murganggefährdet

Bei der Gefährdungsklasse A ist generell mit einer Murgangbildung bei extremen Niederschlagsverhältnissen zu rechnen. Sind die beiden Bedingungen steiles Bachgefälle und hohes Feststoffpotential gegeben, ist grundsätzlich ein grosses Gefährdungspotential vorhanden. Bei der Klasse B sind sowohl die Intensität als auch die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Murgängen geringer.

Generell kann der Einfluss des Gefälles klarer bestimmt werden als derjenige des Feststoffpotentials; dessen Werte in Klam-

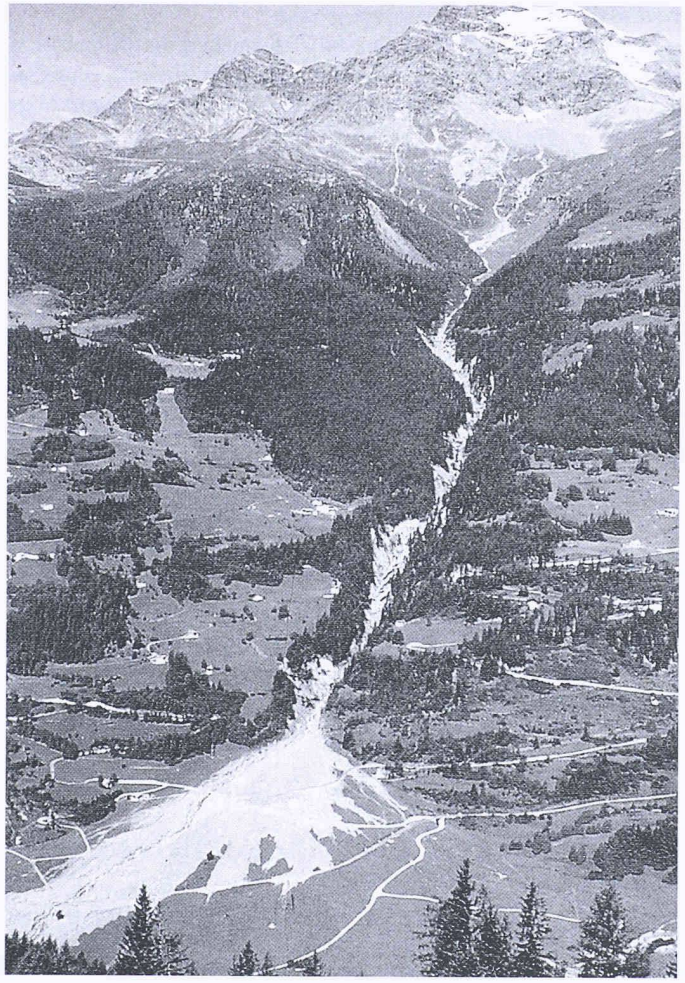

Bild 1.
Das Wildbacheinzugsgebiet und der Kegel der Val Varuna liegen auf der westlichen Talseite des Puschlavs, in der Nähe von Poschiavo. Die Bilder zeigen eine auffällige Ähnlichkeit der Ablagerungen einer Rüfe und einer Lawine. (a) Ablagerungen des Murgangereignisses vom 19.7.1987 (Photo A. Godenzi, Chur), (b) Ablagerungen einer Nassschneelawine, Aufnahme vom 8.5.1978. (Photo R. Godenzi, Poschiavo).

mern sind daher als Angabe von Grössenordnungen zu verstehen. Ein Murgang mit grosser Feststofffracht wird bei abnehmendem Gefälle und längeren Flachstrecken weiter kommen als ein Murgang mit kleiner Feststofffracht. Bei längeren, flachen Zwischenstrecken können kleinere Murgänge zum Auslaufen bzw. Anhalten kommen. Das potentiell mobilisierbare Geschiebe steht auch in engem Zusammenhang mit Gerinnemerkmalen.

Niederschlag und Abfluss

In den meisten Fällen löst der Niederschlag die Murgänge aus. Als Grenzbedingung ist im wesentlichen eine kritische Kombination von Niederschlagsintensität und -summe massgebend. Diese Bedingung ist jedoch gebietsabghängig (v.a. Bodeneigenschaften) und könnte nur mittels genügend Daten einigermassen definiert werden. Bei der Bildung von Murgängen aus dem Gerinnebett heraus («Sohlenverflüssigung») spielt auch die Grösse des Abflusses eine wesentliche Rolle. Eine Quantifizierung dieses Einflusses ist jedoch bis jetzt nicht möglich.

Faktoren, welche die Bildung von Murgängen fördern

- Engstellen, z.B. Felsvorsprünge und/oder grössere Anhäufung von grobblockigem Material
- Wildholz, v.a. zusammen mit Engestellen, als mögliche Ursache von Verklausungen
- Hangprozesse mit Materialeintrag von der Seite
- Seitengerinne und/oder Runsen mit Materialeintrag

Im Bereich der Bachgefälle von 15 bis 25% ist die Entstehung von Murgängen durch «Sohlenverflüssigung» [1] wenig wahrscheinlich. In Kombination mit den genannten Faktoren können aber auch bei diesen Gefällen Murgänge entstehen, oder Murgänge von weiter oben können verstärkt werden.

Erschwerende Faktoren

Folgende Faktoren können die Bildung von Murgängen bzw. deren Weiterfliessen hemmen:

- stark abgestuftes Längenprofil
- längere Flachstrecken ohne Materialaufnahme durch Erosion, mit Ablagerungsmöglichkeiten
- flache Uferbereiche (Materialverlust durch Levéebildung)
- grobblockige Zwischendeponien (Wasserentzug des Murgangs)

Mit Ausnahme des Materialverlusts durch Levéebildung oder durch sonstige grössere Ablagerungen in Flachstrecken ist eine Quantifizierung dieser Einflüsse nicht möglich.

Murganganrisse im hochalpinen Bereich

Mit Murganganrissen muss in folgenden Zonen gerechnet werden:

- Bei Gletscherrandseen, die durch Eismassen oder Moränenmaterial aufgestaut sind, besteht die Möglichkeit von Ausbrüchen, wobei in kurzer Zeit grosse Wassermengen freigesetzt werden können (s. auch Haeberli [7]). Solche Wasserausbrüche führen in der Regel zur Bildung von Murgängen.
- In Moränenzonen ist meist ein grosses Feststoffpotential vorhanden. Im

schwach konsolidierten Lockermaterial ist mit Murganganrissen bei Hangneigungen von 27° bis 38° zu rechnen; speziell gefährdet sind Gletscherrandbereiche, wo Permafrost als Wasserstauer wirken kann.

- In steilen, schwach konsolidierten Schutthalden mit Hangneigungen von 27° bis 38° können besonders am Fusse von Felswänden durch eine Konzentration des Abflusses Murgänge entstehen.

Dokumente historischer Ereignisse

Sind aus schriftlichen Quellen oder mündlicher Überlieferung frühere Murgänge bekannt, ist dies oft das wichtigste Kriterium für den Entscheid, ob Murgänge auftreten können. Dokumentierte historische Ereignisse können vor allem auch Hinweise auf mögliche Ereignisgrössen und Ablagerungszonen liefern.

Spuren alter Murgänge im Gelände

Die wichtigsten Merkmale von Murgangablagerungen sind:

- stark reliefierte Oberfläche des Kegels
- übergrosse Blöcke (v.a. Kegel)
- Levées (v.a. Gerinne, evtl. Kegelhals)
- Murköpfe (oft bei lokaler Gerinneverbreiterung; Kegel)

Spuren alter Murgänge im Kegelbereich und im Gerinne können mit Hilfe einer «Checkliste» im Handbuch «Empfehlung zur Abschätzung von Feststofffrachten in Wildbächen» [4] festgestellt werden.

Einfluss von Verbauungen

Bachverbauungen wurden oft in der Folge eines grösseren Hochwasserereignisses ausgeführt und stellen insofern auch einen Hinweis auf frühere Geschiebe-Aktivität im Wildbach dar. Durch Sperrenbau und/oder Aufforstungen kann die Stabilität rutschgefährdeter Hänge inzwischen verbessert worden sein. Sind die Bachverbauungen in gutem Zustand, beschränken sie die Erosion mit Eintiefung des Gerinnebettes und vermindern so die mobilisierbare Feststofffracht. Durch die Reduktion des Längsgefälles zwischen den Sperren wird die Bildung von Murgängen aus der Gerinnesohle heraus unwahrscheinlicher oder ganz verhindert. Leitdämme und eine Vergrösserung des Gerinnes auf dem Kegel erhöhen die Abfluss- und Speicherkapazität und somit die Grenzbedingungen für Übermurungen.

Andererseits ist zu beachten, dass Sperrentreppen in baulich schlechtem Zustand (besonders bei älteren und schlecht unterhaltenen Bauwerken) eine erhöhte Bruchgefahr aufweisen. Im Falle eines Sperrenbruches mit plötzlicher Freisetzung grosser Geschiebemengen ist bei Bachgefällen über 15% mit der Bildung eines Murganges zu rechnen. In diesem Fall kann die Murganggefährdung grösser sein, als sie für den natürlichen Zustand des Bachbettes ohne Sperren wäre.

Schätzformeln und Faustregeln für wichtige Parameter

Die hier aufgeführten Schätzformeln sollen dazu dienen, die Grössenordnung wichtiger Murgangparameter abzuschätzen. Wegen der Komplexität des Prozesses und dem meist nur rudimentären Datenmaterial können bisher keine genaueren Berechnungsmethoden aufgestellt werden. Die hierunter bestimmten Werte müssen auf jeden Fall mit einer Beurteilung im Gelände verglichen werden.

Ereignisgrösse

Eine Schätzformel ergibt die Grössenordnung der bei einem Extremereignis zu erwartenden maximalen Murenfracht M in [m³], [3]:

$$M = (6.4\, J_k\% - 23)\, L \quad 7\% < J_k \leq 15\% \quad (1a)$$

$$M = (110 - 2.5\, J_k\%)\, L \quad 15\% < J_k \leq 40\% \quad (1b)$$

Dabei ist J_k in [%] das Kegelgefälle und L in [m] die Gerinnelänge vom potentiellen Anrisspunkt bis zum untersten Ablagerungspunkt. Bei Vorhandensein längerer Felsstrecken kann die Gerinnelänge mit Erosion oder Feststoffeintrag kleiner sein; bei der Ableitung der Schätzformel wurde jedoch die ganze Fliessweglänge verwendet.

Eine vergleichende Schätzung des Feststoffpotentials kann gemäss einem Diagramm von Zeller [8] vorgenommen werden. Unter der Annahme, dass die jährliche Fracht im wesentlichen bei einem einzigen Murgang-Ereignis anfällt, und für Verhältnisse «sehr starker» Geschiebeführung kann angegeben werden:

$$M = (17\,000 \ldots 27\,000)\, EG^{0.78} \quad (2)$$

wobei EG in [km²] die Fläche des Einzugsgebietes ist.

Die mit den Formeln geschätzten Werte sollten unbedingt mit einer Schätzung des Feststoffpotentials im Gelände verglichen werden.

Maximalabfluss

Zwischen dem Maximalabfluss des Wasser-Feststoff-Gemisches, Q_{max} in [m³/s], und der Murenfracht kann eine generelle Beziehung formuliert werden:

$$Q_{max} = 0.135\, M^{0.78} \quad (3)$$

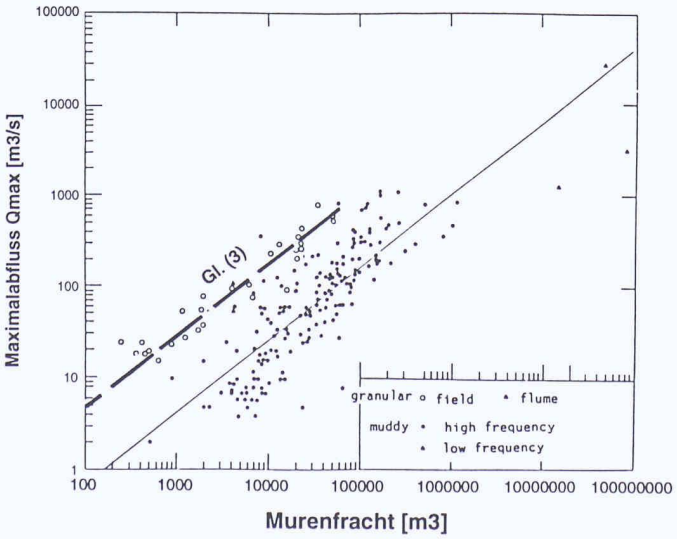

Bild 2.
Maximalabfluss des Wasser-Feststoff-Gemisches in Abhängigkeit der Murenfracht [9]. Einige untersuchte Murgangereignisse des Sommers 1987 folgen in etwa der Gleichung (3) für «granulare» Murgänge.

Anrisszone: Bach-/Hanggefälle	Gerinnemerkmale und Feststoffpotential F (Gerinne + Hänge)	Gefährdungsklasse
J > 25%	Gerinne in Lockermaterial, grössere potentielle Hanganbrüche (F > 10'000 m³)	A1
	Gerinne vorwiegend in Lockermaterial (F = 1'000 - 10'000 m³)	A2
	Gerinne vorwiegend in Fels (F < 1'000 m³)	B
15% < J < 25%	Gerinne in schiefrigen, flyschartigen Gesteinen, pot. Hanganbrüche (F > 10'000 m³)	A1
	Uebrige Gesteinsarten, Gerinne mit Verklausungsmöglichkeit (F > 10'000 m³)	A2
	Gerinne ohne Verklausungsmöglichkeit (F = 1'000 - 10'000 m³)	B
	Gerinne vorwiegend in Fels (F < 1'000 m³)	C
J < 15%	nicht relevant	C

Tabelle 1.
Einfluss von Bachgefälle und Feststoffpotential auf die Murgang-Gefährdung. Die Bedeutung der Gefährdungsklassen ist im Text angegeben.

Die Daten der Schweizer Murgänge 1987 [1] entsprechen in Bild 2 etwa der Gleichung für «granulare» Murgänge gemäss der japanischen Zusammenstellung nach Mizuyama et al. [9], Gleichung (3) kann daher auch für alpine Verhältnisse angewendet werden.

Fliessgeschwindigkeit

Mit einer Fliessformel kann aufgrund des Maximalabflusses und der Gerinnegeometrie die mittlere Fliessgeschwindigkeit V in [m/s] geschätzt werden [1]:

$$V = 10\ R_h^{0.67}\ J^{0.5} \qquad (4)$$

dabei entspricht der Faktor 10 einem Strickler-Beiwert [$m^{1/3}/s$], R_h in [m] ist der hydraulische Radius und J das Gefälle im betrachteten Gerinneabschnitt. Obschon die Strickler'sche Fliessformel im Rahmen der vorhandenen Datengenauigkeit auch für die Abschätzung der Geschwindigkeit von Murenfronten verwendet werden kann, muss darauf hingewiesen werden, dass sich der Fliessprozess eines Murganges vom Reinwasserabfluss unterscheidet.

Nach einem Murgangereignis kann unter Umständen an geeigneten Stellen mit der Methode der Kurvenüberhöhung eine Geschwindigkeitsschätzung durchgeführt werden:

$$V = [g\ tg(\beta)\ R_c]^{0.5} \qquad (5)$$

wobei g die Erdbeschleunigung, β der Winkel der geneigten Wasserspiegellage (senkrecht zur Fliessrichtung gemessen) und R_c der mittlere Kurvenradius ist.

Zwischenablagerungen

Generell sind Ablagerungen bei Gefällen kleiner als etwa 20% möglich. Von Bedeutung ist vor allem die relative Änderung der Gerinnegeometrie: Mit Ablagerungen eines Teils der Murenfracht kann gerechnet werden, falls sich das Sohlengefälle [in %] auf die Hälfte verringert und/oder falls sich die Gerinnebreite verdoppelt. An solchen Stellen sind manchmal alte Murköpfe vorhanden.

In Gerinneabschnitten mit flachen Ufern werden oft Levées (seitliche Murwälle) gebildet. Unter flachen Ufern sind dabei Neigungen bis etwa 33° zu verstehen, als Grenzwert für stabile Böschungen von Lockermaterialablagerungen. Über längere Strecken kann diese Levéebildung zu beträchtlichen Materialverlusten führen. Kleinere Murgänge (Murenfracht bis zu einigen 1000 m^3) können dabei soviel Material verlieren, dass sie schliesslich zum Stillstand kommen.

Reichweite

Falls bedeutende Ablagerungsstrecken bzw. Umlagerungsstrecken vorhanden sind, könnte ein kleinerer Murgang dort stehenbleiben. Die Abschätzung des möglichen Ablagerungsvolumens in einem solchen Abschnitt und der Vergleich mit der geschätzten Murenfracht erlaubt eine Beurteilung, ob ein Anhalten des Murgangs wahrscheinlich ist oder nicht. Ablagerungen und Ausbrüche können auch oberhalb von engen Durchflussquerschnitten (Gerinneverfüllung) provoziert werden.

In den meisten Fällen muss wohl damit gerechnet werden, dass Murgänge bis zum Kegel gelangen. Aufgrund von 82 untersuchten Murgangereignissen des Sommers 1987 in der Schweiz ergibt sich: (a) Ein minimales Pauschalgefälle von 19% wurde nirgends unterschritten. Das Pauschalgefälle bezeichnet das mittlere Gefälle des gesamten Fliessweges von der Anrisszone bis zum untersten Ablagerungspunkt. (b) Es besteht eine generelle Abhängigkeit der Reichweite L in [m] von der Murenfracht M in [m^3], wie Bild 3 zeigt. Der Streubereich der Daten umfasst bei Murenfrachten um 1000 m^3 etwa eine Grössenordnung, nimmt aber für grössere Werte von M ab. Die mittlere (L), maximale (L_{max}) und minimale (L_{min}) Reichweite können mit folgenden Gleichungen angegeben werden:

$$L = 75\ M^{0.31} \qquad (6)$$

$$L_{max} = 350\ M^{0.25} \qquad (7)$$

$$L_{min} = 6.2\ M^{0.45} \qquad (8)$$

Ablagerungen auf dem Kegel

Auf dem Kegel kann ein oberer Wert für die Länge der Ablagerungen L_k [in m] mit folgender Faustformel in Abhängigkeit der Murenfracht M geschätzt werden:

$$L_K = 25\ M^{0.3} \qquad (9)$$

Dabei bezieht sich L_K von der Ausbruchstelle aus dem Gerinne bis zum untersten Punkt der murgangartigen Ablagerungen (ohne verschwemmtes Material). Die Formel basiert zwar auf wenigen Beobachtungen von Schweizer Murgangereignissen (Bild 4), aber die Daten liegen in einem ähnlichen Bereich wie bei Murgängen in Japan [6]. Der Schätzwert sollte mit historischen Ablagerungen (falls vorhanden) verglichen und gegebenenfalls entsprechend angepasst werden.

Falls keine Hinweise von alten Ablagerungen vorhanden sind, kann in grober Näherung angenommen werden, dass die Ablagerungbreite etwa der zehnfachen Breite des Murstromes beim Kegelhals entspricht. Die mittlere Ablagerungsmächtigkeit von Murablagerungen auf dem Kegel liegt oft im Bereich von 1 m bis ca. 4 m. Die Geometrie der geschätzten Ablagerungen ist in jedem Fall mit der geschätzten gesamten Murenfracht zu überprüfen bzw. zu plausibilisieren.

Beurteilung der Gefährdung auf dem Kegel

Falls Spuren früherer Murgänge auf dem Kegel und/oder historische Dokumente vorhanden sind, sollte sich die Ausscheidung von Gefahrenzonen in erster Linie auf diese Hinweise stützen. Dabei sind allenfalls die Grössen der gefährdeten Zonen entsprechend der erwarteten Murenfracht anzupassen. Bei der Beurteilung der Spuren auf dem Kegel (alte Ablagerungen) sind folgende Faktoren von Bedeutung:

- Alte Ablagerungen: Eine Ansammlung von Steinen bzw. Blöcken mit mehr als etwa

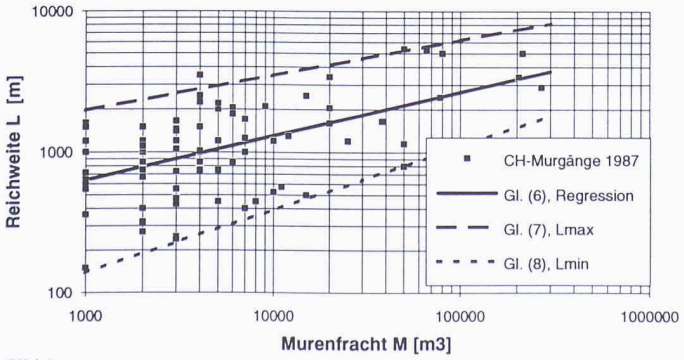

Bild 3.
Reichweite (Länge des Fliessweges) in Abhängigkeit der Murenfracht, für 82 Murgangereignisse des Sommers 1987 in der Schweiz.

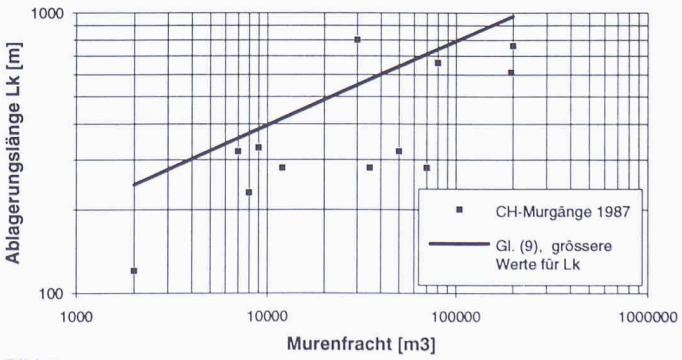

Bild 4.
Ablagerungslängen von Murgangablagerungen auf dem Kegel in Abhängigkeit der Murenfracht, für 12 Murgangereignisse des Sommers 1987 in der Schweiz.

0,5 bis 1 m Durchmesser lässt auf alte Murgangablagerungen schliessen, insbesondere wenn diese Ablagerungen ausserhalb des Gerinnes liegen. Murwälle (levées) oder Murköpfe sind, sofern noch erkennbar, ebenfalls Hinweise auf murganggefährdete Flächen. Allerdings könnte infolge einer veränderten Topographie am Kegelhals (z.B. neue Richtung des Bachlaufs) jetzt eine andere Seite des Kegels gefährdet sein als früher, oder infolge eines veränderten Abflussregimes (z.B. mit geschiebeärmeren Abflüssen und stark eingetieftem Gerinne am Kegelhals) könnten früher übermurte Flächen jetzt nicht mehr gefährdet sein.

- Inaktive Abflussrinnen und Relikte alter Bachläufe weisen generell auf frühere Geschiebeaktivität auf dem Kegel hin, die aber sowohl durch Murgänge als auch durch «normale» Hochwasserereignisse bedingt sein kann.
- Vegetationsbedeckung: Sind im Kegelbereich Flächen mit deutlich unterschiedlich alten Baumbeständen vorhanden, so können diese mit entsprechend weit zurückliegenden Murgangereignissen zusammenhängen.
- Aufschlüsse in alten Ablagerungen: Bei Vorhandensein von Aufschlüssen kann die Art der Schichtung einen Hinweis auf frühere Murgangaktivität und die Einzel-Schichtdicke einen Hinweis auf die Ereignisgrösse geben.

Wird von alten Murablagerungen auf zukünftig mögliche Ablagerungsflächen geschlossen, ist zu beachten, inwiefern sich die Situation durch allfällige Bachverbauungen oder neue Gebäude verändert hat. Zudem können durch landwirtschaftliche oder andere Nutzung alte Ablagerungsspuren auf dem Kegel verwischt worden sein. Sind keine Spuren oder Hinweise auf ältere Ereignisse vorhanden, müssen die potentiellen Ablagerungszonen allein anhand der erwarteten Murenfracht und zusammen mit Annahmen über die Ablagerungsgeometrie abgeschätzt werden.

Entscheidend beeinflusst wird die Art der Ablagerungen davon, ob auf dem Kegel eher Murgänge oder fluviale Geschiebetransportprozesse vorherrschen. Im Bereich von Murgangablagerungen sind alle Korngrössen mehr oder weniger gleichmässig über die Ablagerungsfläche verteilt, wobei grosse Blöcke an der Front einzelner Murschübe oft bis zum vordersten Rand der Ablagerungen verfrachtet werden. Bei geschiebeführenden Hochwassern hingegen werden die gröberen Komponenten bei steileren Gefällen abgelagert, während die feineren Partikel in flachere Kegelbereiche transportiert werden. Oftmals findet auch nach einem Murgang durch den nachfolgenden Wasserabfluss noch eine Umlagerung der feineren Korngrössen statt.

Zusammenfassung

Die wichtigsten Aspekte für eine grobe Beurteilung der Murganggefährdung können unter den folgenden Stichworten zusammengefasst werden:

- Bach-/Hanggefälle, Feststoffpotential (≥ Gefährdungsklasse)
- Hinweise auf frühere Murgangereignisse
- Murgang-fördernde bzw. -hemmende Faktoren
- evtl. Murganganrisse im hochalpinen Bereich

Die genauere Beurteilung einzelner wichtiger Aspekte erfordert eine Untersuchung im Gelände (Geomorphologie, Spuren). Mit den vorhandenen Formeln und Faustregeln können folgende Abschätzungen gemacht werden:

1. Schätzen der erwarteten Murenfracht, Plausibilisierung und genauere Bestimmung im Gelände
2. Schätzen des Maximalabflusses und Plausibilisierung (ist der Schätzwert innerhalb des Bereiches in Bild 2?)
3. Schätzen der Abflusskapazität des Gerinnes auf dem Kegel, Vergleich mit Maximalabfluss -> mögliche Verstopfungs- bzw. Ausbruchsstellen
4. Berechnen der Speicherkapazität des Gerinnes, Vergleich mit der erwarteten Murenfracht, unter Berücksichtigung des zu erwartenden Ablagerungsvorganges (evtl. wird nur ein Teil des Gerinnes verfüllt)
5. Verteilen der (restlichen) Murenfracht. Neben der Benützung der Schätzformeln und Faustregeln soll man sich in erster Linie auf frühere Ablagerungen stützen, falls sich die Situation bezüglich Kegeltopographie und Abflussregime seither nicht entscheidend geändert hat. Ein Vergleich mit bekannten Ablagerungsmustern auf ähnlichen Kegeln bei vergleichbaren Murfrachten kann wichtige Hinweise liefern.

Aufgrund einer Gesamtbeurteilung der vorhandenen Informationen (Beurteilung im Gelände, Spuren, quantitative Abschätzungen) ist aus dem Spektrum möglicher Ereignisse das wahrscheinlichste/plausibelste Szenarium auszuwählen.

Die vorgestellten Gleichungen sollen jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass damit nur die Grössenordnung der wichtigsten Parameter abgeschätzt werden kann. Die genauere Beurteilung der Murganggefährdung erfordert Untersuchungen im Gelände und wird nicht zuletzt auch von der Erfahrung des Gutachters profitieren.

Adresse des Autors:
Dieter Rickenmann, Dr. sc. techn., dipl. Bauing. ETH/SIA, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf.

Literatur

[1]
Haeberli, W., Rickenmann, D., Rösli, U., Zimmermann, M.: Murgänge. Ursachenanalyse der Hochwasser 1987, Ergebnisse der Untersuchungen. Mitt. des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Bern, Nr. 4 = Mitt. der Landeshydrologie und -geologie, Bern, Nr. 14, p. 77-88, 1991.

[2]
VAW Murgänge: Dokumentation und Analyse. Ursachenanalyse der Hochwasser 1987, Teilprojekt Murgänge, unveröff. Bericht der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich, 622 pp., 1992

[3]
Rickenmann, D.: Murgänge: Prozess, Modellierung und Gefahrenbeurteilung. In «Instabile Hänge: Ursachen, Klimatische Einflüsse, Beobachtung und Sanierung», Hrsg. B. Oddsson, Monte Verità Proceedings Centro Stefano Franscini, Ascona (im Druck), 1995

[4]
LHG/BWW: Empfehlung zur Abschätzung von Feststofffrachten in Wildbächen. Hrsg. Landeshydrologie und -geologie (LHG), Bern, und Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW), Bern (im Druck), 1995

[5]
Aulitzky H: Berücksichtigung der Wildbach- und Lawinengefahrengebiete als Grundlage der Raumordnung von Gebirgsländern. 100 Jahre Hochschule für Bodenkultur, Band IV, Teil 2, p. 81-117, 1973

[6]
Nakamura, J.: Investigation Manual on Prediction of Occurrence of Dosekiryu [debris flows], Delineation of Dangerous Zone Affected by Dosekiryu and Arrangement of Warning and Evacuation System in Mountain Torrents in Japan. Int. Symp. Interpraevent Bad Ischl, A, Bd. 3, p. 41-81, 1980

[7]
Haeberli, W.: Frequency and characteristics of glacier floods in the Swiss Alps. Annals of Glaciology, Vol. 4, p. 85-90, 1983

[8]
Zeller, J.: Feststoffmessung in kleinen Gebirgseinzugsgebieten. Wasser, energie, luft, 77. Jg., H. 7/8, p. 246-251, 1985

[9]
Mizuyama, T., Kobashi, S., Ou, G.: Prediction of debris flow peak discharge. Proc. Int. Symp. Interpraevent, Bern, Bd. 4, p. 99-108, 1992

[10]
Zimmermann, M., Rickenmann, D.: Beurteilung von Murgängen in der Schweiz: Meteorologische Ursachen und charakteristische Parameter zum Ablauf. Proc. Int. Symp. Interpraevent, Bern, Bd. 2, p. 153-163, 1992

Anmerkung und Dank

Der vorliegende Artikel ist die überarbeitete und ergänzte Fassung eines Referates, das der Autor im Herbst 1993 am Wildbach-Kurs der Forstlichen Arbeitsgruppe für Naturgefahren gehalten hat. Die Grundlagen basieren im wesentlichen auf Erkenntnissen aus der Ursachenanalyse der Hochwasser 1987, Teilbericht Murgänge [2]. Den Kollegen Rolf Bart, Dr. Christoph Lehmann und Dr. Markus Zimmermann sei für konstruktive Diskussionen bestens gedankt.