Zeitschrift: Bulletin für angewandte Geologie

Herausgeber: Schweizerische Vereinigung der Petroleum-Geologen und –Ingenieure; Schweizerische Fachgruppe für Ingenieur-Geologie

Band: 11 (2006)

Heft: 2

Artikel: Prognose von Murganggefahren : wie sicher ist sie?

Autor: Zimmermann, Markus

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-226170

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: 24.01.2026

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

Bull. angew. Geol. Vol. 11/2 Dezember 2006 S. 65-73

Prognose von Murganggefahren: Wie sicher ist sie?

Markus Zimmermann[1]

Stichworte: Murgang, Murfähigkeit von Bächen, Prognoseverfahren, Szenarien, Brienz

Zusammenfassung
Murgänge sind äusserst komplexe Naturphänomene. Deren Beurteilung erfordert deshalb das gleichzeitige Anwenden von unterschiedlichen Ansätzen und Methoden. Auch wenn heute verschiedene erprobte Verfahren zur Verfügung stehen, verbleiben nach wie vor wesentliche Unsicherheiten bei der Prognose. Diese betreffen insbesondere Ereignisgrösse und -auftretenswahrscheinlichkeit sowie das Verhalten des Prozesses selber.

Abstract
Debris flows are highly complex natural phenomena. The assessment of these processes requires the parallel application of various approaches and methods. However, many uncertainties remain even if proven procedures are available. Uncertainties are highest for magnitude-frequency relations and for the behaviour of the process.

1. Überblick

Wildbäche und insbesondere die darin ablaufenden Murgänge gehören zu jenen Gefahrenprozessen, welche äusserst komplex und relativ schwierig zu erfassen sind. Dadurch ergeben sich beträchtliche Unsicherheiten in der Beurteilung und der Bewertung der Prozesse. Murgänge sind in den Alpen zwar seit langem bekannt. Dies zeigt sich beispielsweise in der umgangssprachlichen Bezeichnung dieses Prozesses, die sich auch in zahlreichen Flurnamen niedergeschlagen hat: Rüfi, Rufi, Laui, Laueli, Mur etc. Hingegen ist die wissenschaftliche und technische Auseinandersetzung mit Murgängen jung. Bis in die 1970er Jahre wurden Murgänge in der Schweiz meist als eine besondere Form des Hochwasserabflusses angesehen. Seit der Ursachenanalyse der Ereignisse von 1987 ist diese Naturgefahr in

[1] NDR Consulting Zimmermann, Riedstrasse 5, 3600 Thun

der Schweiz aber ein expliziter Forschungsgegenstand (z. B. Rickenmann 1990, Tognacca 1999, Schatzmann 2005). Überdies wurden für die praktische Beurteilung von Wildbachaktivität und Murgängen in den letzten Jahren verschiedene Ansätze und Methoden entwickelt. Diese tragen zwar wesentlich zum Erkennen und Bewerten von Murganggefahren bei, gerade die Ereignisse vom August 2005 haben jedoch gezeigt, dass nach wie vor grössere Unsicherheiten und Herausforderungen bei der Prognose bestehen. Vorliegender Aufsatz beleuchtet einige dieser Ansätze und weist auf die Sicherheit bzw. Unsicherheit bei der Prognose hin. Illustriert werden die Aussagen an Hand des Murgangs vom 23. August 2005 in Brienz (Fig. 1).

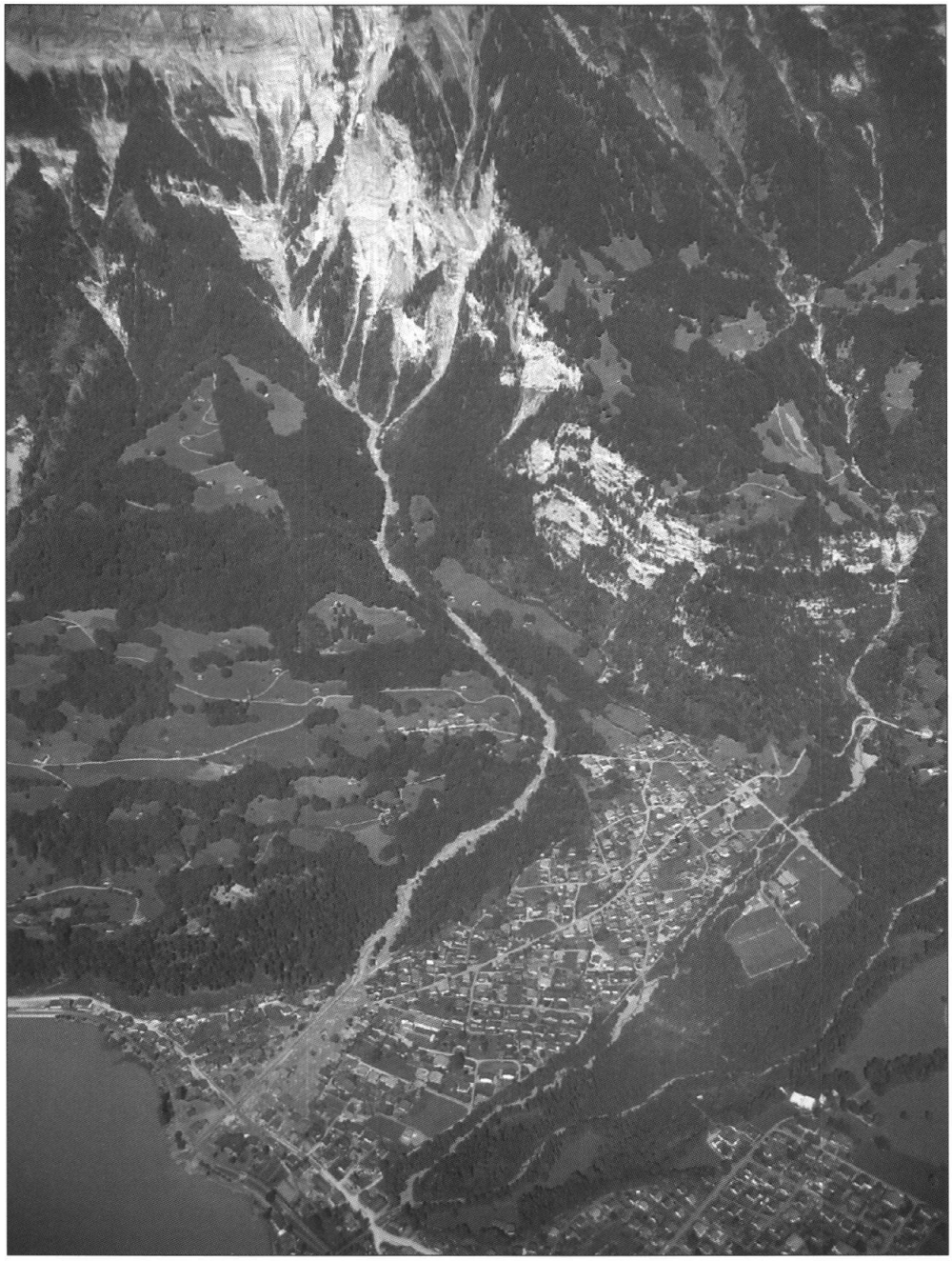

Fig. 1: Glyssibach: Einzugsgebiet und Ablagerungen des Murgangs vom 23. August 2005 auf dem Gemeindegebiet von Brienz. Unterhalb der Rechtskurve des Baches liegt die Siedlung Unterschwanden (Foto: Amt für Wald des Kantons Bern, Abteilung Naturgefahren, Interlaken).

2. Ereignis im Glyssibach

Die aussergewöhnlichen Niederschläge vom 20. bis 23. August 2005 lösten im Glyssibach (Gemeinden Schwanden und Brienz, Berner Oberland) eine Rutschung von 60'000 bis 90'000 m^3 aus. Etwa $^1/_3$ dieses Volumens hat sich verflüssigt und ist als Murgang über ein vollständig wassergesättigtes Gerinne gefahren. In der Folge wurde das Gerinne massiv erodiert. Der Murgang hat auf 2 km Länge nochmals etwa 40'000 m^3 Schutt und vor allem auch grosse Blöcke aufgenommen. Der gesamte Abfluss folgte bis in die Siedlung von Brienz dem Bachlauf. Ein befürchteter Ausbruch oberhalb (auf dem Gebiet der Gemeinde Schwanden) blieb aus.
Die Wildbachschale auf dem Gemeindegebiet von Brienz (4 m breit, knapp 2 m tief) war für diesen Murgang definitiv zu klein. Vom See aufwärts wurde die Schale mit Schutt aufgefüllt. Gleichzeitig traten am Schalenkopf mindestens drei Murschübe aus dem Gerinne aus, welche zu den massiven Verwüstungen auf dem Kegel geführt haben. Die Wucht der grossen Blöcke (Durchmesser 2-3 m) zerstörten 7 Häuser total (Fig. 2). Leider forderte der Murgang auch zwei Menschenleben.
Das Ereignis wurde im Rahmen einer grösseren Analyse (LLE 2006), welche der Kanton Bern für die verschiedenen Unwettergebiete in Auftrag gegeben hat, beschrieben und analysiert.

3. Ansätze der Analyse und Beurteilung

Die Ansätze zum Erkennen und Bewerten von Murgängen unterscheiden sich nicht wesentlich von jenen für andere Gefahrenprozesse. Es sind drei grundsätzlich unterschiedliche Verfahren anwendbar, welche seit längerer Zeit bekannt und auch heute noch aktuell sind (z. B. Kienholz et al. 2006):

- Analyse von historischen Dokumenten (Karten, Bilder, Beschreibungen). Sie geben primär Auskunft zu den Fragen: wo, wie häufig, wie gross, wie? In der Schweiz sind für viele Bäche die unterschiedlichsten Dokumente vorhanden, welche einen Blick teilweise mehrere Jahrhunderte zurück erlauben.

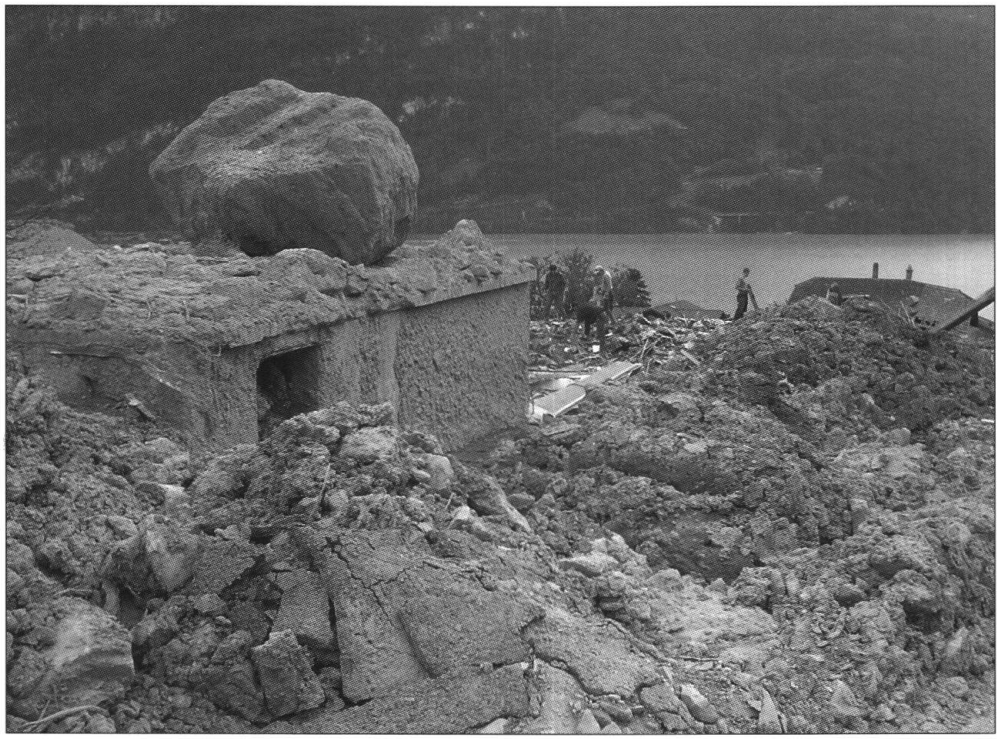

Fig. 2: Glyssibach, Brienz: Feinkörnige Ablagerungen mit riesigen Blöcken.

- Geländeanalyse und Interpretation von «stummen Zeugen»: Die typischen Formen und Phänomene, welche auf Murgangaktivität hinweisen, lassen sich häufig mittels einer detaillierten Geländeanalyse finden, kartieren und interpretieren. Eindeutige Hinweise sind beispielsweise u-förmige Gerinneabschnitte, Levées, Murzungen oder unsortierte Ablagerungen. Auf intensiv genutzten Wildbachkegeln sind die Phänomene jedoch oft verwischt, weggeräumt oder überbaut und nicht mehr gut erkennbar.
- Modelle: In den letzten etwa 20 Jahren wurden eine ganze Reihe von Modellen und Ansätzen entwickelt, mit denen verschiedene Parameter der Murgänge berechnet bzw. geschätzt werden können. Empirische Schätzformeln für verschiedene Parameter hat beispielsweise Rickenmann (1995) zusammengestellt. Ein einfaches, GIS-basiertes Modell zur Simulation des Murgangprozess (Reichweite, Ausbreitung) haben Zimmermann et al. (1997) und Gamma (2000) beschrieben. Zur Zeit (2006) ist ein 1-dimensionales, 2-phasiges hydraulisches Modell zur Simulation von Murgängen in Entwicklung (WSL 2006). Ein wichtige Methode zur Abschätzung der Murganggefahr ist die Beurteilung der Bereitschaft eines Einzugsgebiets zur Entstehung von Murgängen. Solche Verfahren basieren auf verschiedenen Einzugsgebiets-Parametern (z. B. Spreafico et al. 2005).

Mit Hilfe dieser drei Ansätze lassen sich die einzelnen Grössen, welche für die Beurteilung der Murganggefahr notwendig sind, schätzen oder berechnen.

4. Gefahrenbeurteilung: Grundfragen

Das Erstellen von Intensitäts- und Gefahrenkarten oder die Dimensionierung von Schutzbauten erfordern Antworten auf folgende Fragen:

- Wo? Können Murgänge in einem Wildbach überhaupt auftreten?
- Wie gross sind die Ereignisse?
- Wie oft treten die Ereignisse auf?
- Warum (unter welchen Bedingungen) kommt es zu Murgängen?
- Wie verhalten sich die Murgänge im Gerinne und auf dem Kegel?

Die heute gebräuchlichen Methoden und die vorhandenen Sicherheiten und Unsicherheiten werden im Folgenden für die oben aufgeführten Fragen diskutiert.

4.1 Wo? - Murfähigkeit und betroffenes Gebiet

Eine der wesentlichsten Fragen in einem Wildbach ist jene nach dessen Murfähigkeit. Kann sich im Wildbach überhaupt ein Murgang entwickeln? Dies kann einerseits vom Einzugsgebiet her abgeschätzt werden: Entscheidend sind das Feststoffpotential im Gerinne und gerinnenahen Bereich (auch leicht erodierbare geologische Schichten, z. B. Schiefer) und die Gefällsverhältnisse. Nach Rickenmann (1995) sind Gefälle von > 25% für die Murgangauslösung entscheidend. Andererseits - besonders auf dem Kegel - weisen Spuren früherer Aktivität auf die Murfähigkeit hin. Auf dem Kegel des Glyssibachs (zumindest in den Waldpartien) sind Murzungen und Levées deutlich erkennbar. Die Phänomene auf dem Kegel sind auch klare Hinweise um das betroffene Gebiet, bzw. die Reichweite von Murgängen zu belegen. Allerdings verwischen anthropogene Einflüsse die klaren Hinweise. So sind beispielsweise in Unterschwanden noch einzelne Formen erkennbar (Fig. 3), auf dem Kegel von Brienz hingegen gar keine mehr.

Fazit Murfähigkeit

Mit der heutigen Kenntnis lässt sich die Murfähigkeit von Wildbächen recht sicher abschätzen. Insbesondere die «stummen Zeugen» im Gelände geben klare Hinweise. Vorsicht ist auf intensiv genutzten Wildbachkegeln geboten.

Fig. 3: Ältere Murgangablagerung im Siedlungsgebiet von Unterschwanden. Die Form ist als solche noch erkennbar, allerdings stark geglättet.

4.2 Wie gross? - Ereignisgrösse und dynamische Parameter

Das Schätzen von möglichen Ereignisgrössen und von dynamischen Parametern erfordert die Verwendung von verschiedenen Methoden:

- Analyse abgelaufener (historischer) Ereignisse: Mit direkten und indirekten Hinweisen, z. B. zu aufgetretenen Schäden, sind Aussagen zur Ereignisgrösse (Volumen), zu Abflüssen und zur Reichweite möglich. Meistens vermitteln die Dokumente jedoch zu wenig Information für eine zweifelsfreie Aussage. Für den Glyssibach konnten von 1797 bis 2005 mindestens 7 grössere Ereignisse nachgewiesen werden. Diese haben primär Unterschwanden betroffen.
- Empirische Modellansätze existieren zur Schätzung der Ereignisgrösse (Kubatur). Diese Formeln basieren auf verschiedenen Einzugsgebiets-Parametern. Angewendet auf die Verhältnisse im Glyssibach ergeben sich die Ereignisgrössen in Tab. 1 (vgl. zu den Formeln z. B. Zimmermann & Lehmann 1999).
- Es zeigt sich, dass die Resultate der empirischen Schätzformeln eine sehr grosse Variation aufweisen (Tab 1). Wichtig ist deshalb, dass nicht nur eine Formel angewandt wird. Zudem sind die Werte mit Vorsicht zu interpretieren und unbedingt mit den Resultaten anderer Methoden zu vergleichen. Für andere Murgang-Parameter (z. B. Spitzenabfluss, Fliessgeschwindigkeit, Fliesshöhe oder Reichweite) gibt es ähnliche empirische Schätzformeln. Auch hier zeigen die Resultate eine grosse Variation.

Zeller (1985)	$M = 17'000 \sim 27'000 \times E^{0.78}$	36'000 m^3
Kronfellner-Kraus (1985)	$M = K \times J_c \times E$	142'000 m^3
Lehmann (1993)	M = aus Flussdiagramm	20'000 m^3
Rickenmann (1995)	$M = (110 - 2.5 \times J_k) \times L$	110'000 m^3
D'Agostino et al. (1996)	$M = 45 \times E^{0.9} \times J_c 1.5 \times IG$	57'000 m^3

Tab. 1: Resultate empirischer Schätzformeln zu den Ereignisgrössen im Glyssibach.

- Die Analyse im Einzugsgebiet zielt auf die Geschiebepotentiale im Gerinne und in den Hängen (z. B. Rutschungen). Eine recht robuste Methode zur Bestimmung der Ereignisgrösse erfolgt über die Schätzung der Erosionsleistung in den verschiedenen Gerinneabschnitten (m^3 erodiertes Geschiebe pro Laufmeter Gerinne).
  Im Glyssibach ist eine mittlere Erosionsleistung von etwa 20 m^3 pro Laufmeter über eine Länge von 1800 m aufgetreten. Dies ist ein ausserordentlich hoher Wert, welcher in dieser Grössenordnung nicht vorausgesagt worden ist.

Im Jahre 1998 wurde für den Glyssibach eine Schätzung für ein grosses Ereignis (ca. 100-jährlich) vorgenommen und auf etwa 40'000 m^3 festgelegt. Diese Schätzung musste im Lichte der seit 2003 vorliegenden Ereignisdokumentation und des Ereignisses 2005 revidiert werden. Allerdings ist aktuell das Risiko ein gleiches Ereignis zu erleben deutlich kleiner. Das System muss sich zuerst wieder aufladen, bevor Ähnliches erneut ablaufen kann.

Fazit Ereignisgrösse und dynamische Parameter

Die verschiedenen Methoden ergeben meist ein breites Spektrum an Werten. Die Sicherheit in der Prognose ist umso besser, je mehr unterschiedlich erarbeitete Werte vorliegen und je besser diese konvergieren. In jedem Falle gilt es, sie sorgfältig zu interpretieren und zu plausibilisieren. Bei der Grösse von sehr seltenen Ereignissen kann die Unsicherheit allerdings immer noch 100% oder mehr betragen.

4.3 Wie oft? - Frequenz bzw. Auftretenswahrscheinlichkeit

In der Meteorologie oder Hydrologie sind Frequenzanalysen eine sehr verbreitete Methode zur Schätzung der Wiederkehrdauer von bestimmten Ereignisgrössen. Bei Murgängen versagen solche Modelle in der Regel, da das Auftreten im betrachteten Zeitraum episodisch erscheint. Brauchbare Hinweise zur Frequenz von Ereignissen liefert beispielsweise die Auswertung historischer Dokumente. Im Glyssibach haben schriftliche Quellen gezeigt, dass im 19. Jahrhundert grössere Murgänge relativ häufig aufgetreten sind, dass im 20. Jahrhundert jedoch eine über 80 Jahre dauernde Ruhe geherrscht hat (Fig. 4). Ist das Ereignis von 2005 jetzt als ein Einsetzen einer erhöhten Häufigkeit, wie im 19. Jahrhundert, zu werten, oder kann davon ausgegangen werden, dass grosse Ereignisse selten bleiben? Bei dieser Frage müssen neben den geologischen und geomorphologischen Gegebenheiten auch Aspekte des Klimas und dessen Veränderung berücksichtigt werden.

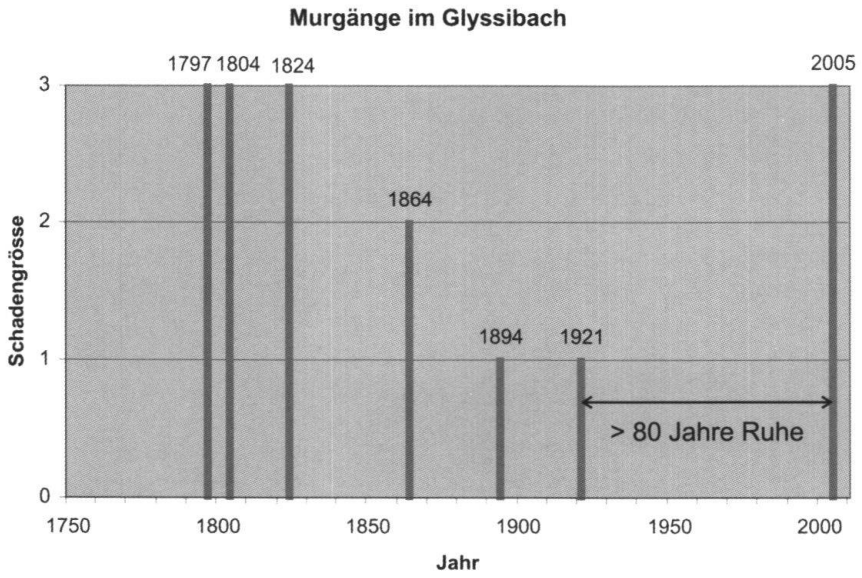

Fig. 4:
Auftreten von Murgängen im Glyssibach in den letzten 200 Jahren. Die 80 Jahre dauernde Ruhe passt zwar gut zu der generell ruhigen Phase zwischen den 1920er und 1970er Jahre in anderen Gegenden der Schweiz. Eine nähere Interpretation ist aber noch notwendig.

Fazit Häufigkeit
Trotz der oft recht guten Datenlage sind Aussagen zur Häufigkeit nach wie vor schwierig. Die Prognose wird umso schwieriger, wenn Umweltveränderungen (z. B. Zunahme bzw. Abnahme des Waldbestandes im Einzugsgebiet, Klimaänderung) zu berücksichtigen sind. Im Lichte von solchen Veränderungen haftet den Voraussagen eine relativ grosse Unsicherheit an. Was in den letzten 100 Jahren passiert ist, kann nicht ohne weiteres in die Zukunft übertragen werden.

4.4 Warum? - Auslösende Bedingungen für Murgänge

Wildbachaktivität und Murgänge in kleineren Wildbächen ereignen sich normalerweise bei Gewittern. Dies haben Anwohner oder die lokalen Wehrdienste auch für den Glyssibach bestätigt. Über die Auslösebedingungen sind allerdings kaum quantitative Informationen verfügbar, da der Regen sehr lokal fällt und deshalb meistens nicht aufgezeichnet ist. Einige Schwellenwerte wurden z. B. im Rahmen des NFP31 ermittelt (Zimmermann et al. 1997). Dass Murgänge auch bei lang andauernden Niederschlägen auftreten ist weniger bekannt. Am ehesten sind sie im Zusammenhang mit Rutschungen bei Schneeschmelze und Regen zu erwarten, wie z. B. im Mai 1999 (Bollinger et al. 2000).
Im Glyssibach führten die massiven Regenfälle (> 300 mm in 3 Tagen, bei maximalen Intensitäten von 10-15 mm/h) zu einer Rutschung. Teile davon haben sich unmittelbar nach dem Einsetzen der Bewegung in einen Fliessprozess entwickelt. Im vollständig durchfeuchteten Bachschutt wurde weiteres Material aufgenommen (siehe oben). Eine solche Auslösung wurde so bis jetzt nicht in Betracht gezogen.

Fazit auslösendes Ereignis
Die Ereignisse vom August 2005 haben gezeigt, dass Wildbäche auch bei lang andauernden Niederschlägen mit mässiger Intensität sehr heftig reagieren können. Eine Rutschung scheint als unmittelbar auslösendes Ereignis notwendig zu sein. Einen allgemein gültigen Schwellenwert (z. B. Niederschlagshöhe) für das Gesamtsystem Wildbach (Rutschung, gesättigte Gerinneabschnitte usw.) festzulegen, wird schwierig bleiben.

4.5 Wie? - Verhalten, Wirkung, Szenarien

Bei der Beurteilung der Murganggefahr ist das Verhalten des Prozesses ein zentraler Aspekt. Dabei spielt die Frage von möglichen Erosionen und insbesondere Akkumulationen (und damit von Veränderungen des Bachbetts) eine überragende Rolle.
Heute gebräuchliche Methoden berücksichtigen einerseits Modellierungen (z. B. GIS-basierte Simulationen mit empirischen Modellen oder eine hydraulische Simulation), anderseits sind Analogien (Übertragen des Verhaltens von anderen Bächen oder die Rekonstruktion von früheren Ereignissen im gleichen Bach) ein wichtiges Hilfsmittel zur Abschätzung.
Im Glyssibach wurde davon ausgegangen, dass ein grosses Ereignis zu wesentlichen Akkumulationen in den Abschnitten auf Gemeindegebiet von Schwanden führt. Spätestens bei der Glyssenbrücke (in der Rechtskurve des Baches) hätte es zu einer Verstopfung und zu einem Ausbruch kommen sollen. Der Murgang im Jahre 2005 hat sich jedoch gegenteilig verhalten: Auf der ganzen Länge fand Erosion statt und das Total von 70'000 m^3 ist durch den anfänglich kleinen Brückenquerschnitt von 2.5 m Höhe und 8 m Breite geflossen.

Fazit Szenarien, Ablauf
Trotz grosser Erfahrung (= viele analysierte Ereignisse in den letzten Jahren) sind Szenarien und Abläufe möglich, welche nicht unbedingt vorhersehbar sind. Mit Hilfe von Analogien können allenfalls Unsicherheiten reduziert werden. Ob ein einzelner Murgang oder Murschub in einem bestimmten Abschnitt erodiert oder ablagert, kann heute noch nicht vorausgesagt werden.

Fig. 5: Querschnitt Glyssenbrücke (Unterschwanden): Vor dem Ereignis betrug die Höhe knapp 2.5 m (gestrichelte Linie), nach dem Ereignis etwa 6 m.

5. Schlussfolgerungen

In den letzten 20 Jahren wurden die Kenntnisse über die Wildbachprozesse und insbesondere über die Murgänge wesentlich erweitert. Heute können Aussagen zu Wildbach- und Murganggefahren mit einer gewissen Sicherheit gemacht werden, bzw. die Unsicherheiten lassen sich benennen und einigermassen abschätzen. Im Speziellen kann die Kenntnis zu den oben formulierten Fragen wie folgt zusammengefasst werden:

Murfähigkeit der Bäche (wo?)	⇨ Einigermassen sichere Aussage möglich.
Kubatur, Abfluss etc. (wie gross?)	⇨ (Un)Sicherheit beträgt einen Faktor 2 bis 3.
Auslösendes Ereignis (warum?)	⇨ Grundsätzliches ist bekannt. Schwellenwerte sind schwer zu definieren.
Häufigkeit (wann, bzw. wie häufig?)	⇨ Für kleine bis mittlere Ereignisse: einigermassen sichere Aussage; für sehr grosse (seltene) Ereignisse: Aussage unsicher.
Verhalten, Wirkung, Szenarien (wie?)	⇨ Auch «unmögliche» Ereignisabläufe sind möglich.

Das Minimieren von Unsicherheiten kann am ehesten erreicht werden, wenn für die jeweilige Fragestellung verschiedene Ansätze und Methoden angewendet werden. Dies ist auch entsprechend zu dokumentieren und zu kommunizieren.

In diesem Zusammenhang ergibt sich eine klare Herausforderung: wie kommuniziert man eine Prognose zu einem Phänomen, das nur episodisch auftritt (Verständnis für das Phänomen)? Und weiter: wie kommuniziert man Unsicherheit (Verständnis für Unzulänglichkeiten in der Analyse)? Neben der Suche nach besseren Erkenntnissen über die Prozesse, neben der Verbesserung der Analyse- und Beurteilungsmethoden hat die Forschung auch zu Fragen der Kommunikation noch wesentliche Beiträge zu leisten.

Dank
Die kritischen Anmerkungen von Prof. Hans Kienholz zu vorliegendem Aufsatz werden bestens verdankt.

Literatur

Bollinger, D., Hegg, Ch., Keusen, H.R. & Lateltin, O. 2000: Ursachenanalyse der Hanginstabilitäten 1999. in: Bull. angew. Geol. 5(1), 5-38.

Gamma, P. 2000: dfwalk - Ein Murgang-Simulationsprogramm zur Gefahrenzonierung. Geographica Bernensia. G66. Universität Bern.

Kienholz H., Perret, S. & Schmid, F. 2006: Dokumentation von Naturereignissen - Feldanleitung. In: Plattform Naturgefahren der Alpenkonvention (Hrg.). 64 S. Innsbruck/Bern.

LLE 2006: Lokale lösungsorientierte Ereignisanalyse Glyssibach. Unveröffentlichter Bericht Kantonales Tiefbauamt, Bern.

Rickenmann, D. 1990: Bedload transport capacity of slurry flows at steep slopes. Mitt. VAW, ETHZ. Nr. 103.

Rickenmann, D. 1995: Beurteilung von Murgängen. SIA. Vol. 48, 1995.

Schatzmann, M. 2005: Rheometry for large particle fluids and debris flows. Mitt. VAW, ETHZ. Nr. 187.

Spreafico, M., Lehmann, Ch., Jakob, A. & Grasso, A. 2005: Feststoffbeobachtung in der Schweiz. Berichte des BWG, Serie Wasser. Nr. 8. Bern.

Tognacca, Ch. 1999: Beitrag zur Untersuchung der Entstehungsmechanismen von Murgängen. Mitt. VAW, ETHZ. Nr. 164.

WSL, 2006: DBF-1D Ein neues Zwei-Phasen Murgangmodell für Praktiker. http://www.wsl.ch/hazards/dbf-1d/.

Zimmermann, M., Mani, P., Gamma, P., Gsteiger, P., Heiniger, O. & Hunziker, G. 1997: Murganggefahr und Klimaänderung - ein GIS-basierter Ansatz. NFP31. Schlussbericht. Vdf Verlag, Zürich.

Zimmermann, M., Lehmann, Ch., 1999: Geschiebefracht in Wildbächen: Grundlagen und Schätzverfahren. Wasser-Energie-Luft. Vol. 91, No. 7/8, S.189-194.