

ABLAGERUNGSVERHALTEN UND REICHWEITEN ALPINER MURGÄNGE

DEPOSITIONAL CHARACTERISTICS AND RUNOUT OF ALPINE DEBRIS FLOWS

Christian Scheidl¹ und Dieter Rickenmann^{1,2}

ZUSAMMENFASSUNG

Muren stellen seit jeher eine Gefährdung für die Bevölkerung und deren infrastrukturelle Einrichtungen in den Alpen dar. Bei Wildbachprozessen, wie fluviatile bis murartige Feststofftransporte, oder Murgängen im eigentlichen Sinn, sind eindeutige Erkennungsmerkmale nicht immer feststellbar. Ziel dieser Untersuchung ist es, basierend auf Analysen historischer Ereignisse, bestehende Methoden zur Abschätzung des Ablagerungsverhaltens zu testen und neue Methoden für die Reichweitenbestimmung von Murgängen zu entwickeln. Ein wichtiger Teil ist der Aufbau einer Datenbank über historische Wildbachereignisse in den Alpen, mit Schwerpunkt auf dem Ablagerungsvolumen, der Ablagerungsfläche, der Ablagerungsform sowie zusätzlichen topographischen Parametern und Beschreibungen geomorphologischer Phänomene. Insgesamt wurden hier 25 Murereignisse, 10 murartige und 17 fluviatile Feststofftransportereignisse aus Österreich und der Schweiz berücksichtigt. Gezeigt werden Zusammenhänge zwischen topologische Kennzahlen des Einzugsgebietes, der Ablagerungsfläche und der Art des Gerinneprozesses. Die gesammelten Daten bestätigen weiters den semi-empirischen Zusammenhang zwischen Ablagerungsvolumen und Ablagerungsfläche.

Keywords: Murgänge, Reichweite, Gefahrenabgrenzung, Wildbachprozesse

ABSTRACT

The immense destructive impact caused by debris flows endangers human lives and infrastructure facilities. Due to their disastrous effect in the fan area, there is a need to better understand and describe the depositional characteristics and runout behaviour of debris flows. For torrential processes there are no simple and universal runout prediction methods. Due to improved event documentations over the last years within the alpine region, more data about debris flow events are now available. The objective of this study is to test existing methods and develop new runout prediction methods for debris flows, using also data of recent debris events.

A first step of the investigation is the acquisition of data about past debris flow and debris flood like events. The database includes information on deposition volume, deposition area,

1 Institut für Alpine Naturgefahren (IAN), Universität für Bodenkultur, Peter-Jordan-Strasse 82, 1190 Wien, Österreich (Tel.: +43-147654-4378; Fax: +43-147654; email: christian.scheidl@boku.ac.at)

2 Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Gebirgshydrologie und Wildbäche, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf, Schweiz

shape of the debris-fan, topological parameters and descriptions of geomorphologic features of debris event. Altogether 25 debris flows, 10 debris floods and 17 fluvial sediment transport events of Austria and Switzerland have been used in this study.

We have examined relations between topological parameters of the catchment, deposition area and type of process. This analysis is the basis for improving existing classification schemes to distinguish between different torrential flow processes. The new methodology, mainly based on the observed depositional characteristics, should help to differentiate debris flow events from debris floods and fluvial sediment transport events. Our data also confirm that there is an empirical relationship between the deposition volume and deposition area.

Keywords: debris flows, run out, hazard delineation, torrential processes

EINLEITUNG

In den letzten Jahrzehnten hat ein Umdenken im Umgang mit alpinen gefährlichen Prozessen stattgefunden. Zu den „harten“ Verbauungen, wie sie noch in den 70er Jahren üblich waren, haben sich im Laufe der Zeit ingenieurbioökologische und vor allem flächenwirtschaftliche Maßnahmen hinzugesellt. Als ein flächenhaftes Gutachten über die Gefährdung durch Wildbäche, Lawinen und Erosion dient der Gefahrenzonenplan (GZP). Eine der grundlegendsten Aufgabe zur Erstellung eines Gefahrenzonenplans ist die Gefahrenabgrenzung. Gerade bei Massenverlagerungsprozessen, wie Steinschlag, Rutschungen, Lawinen, Muren oder Schlammlawinen, sind Methoden zur Bestimmung potentieller Reichweiten notwendig. Um solche Methoden jedoch effektiv einsetzen zu können, ist es notwendig, die vorherrschenden Prozessarten zu identifizieren. Vor allem bei Massenverlagerungen in Wildbächen ist die Unterscheidung von Muren und murartigen Feststofftransporten nicht immer einfach.

Bardou (2002) präsentierte einen Ansatz zur Unterscheidung fluviatil sowie murartig geprägter Prozesse und Muren im eigentlichen Sinne, indem er die geometrischen Parameter des Einzugsgebietes mit den durchschnittlichen Neigungen am Ablagerungskegel verglich. Anhand der erhobenen Daten konnte der Ansatz nach Bardou (2002) grob bestätigt werden. Abbildung 1 zeigt die wichtigsten Parameter, die für eine einfache Gefahrenabgrenzung bei Murgängen benötigt werden (Rickenmann, 1999). Vom Standpunkt der potentiellen Gefährdung, ist das Ereignisvolumen die wichtigste Eingangsgröße für weitere Analysen und zur Bestimmung der möglichen Reichweite bzw. Ausdehnung der Ablagerung.



Abb. 1: Parameter zur Abschätzung potentieller Reichweiten von Muren (aus Rickenmann, 1999).

Fig. 1: Flow chart for estimating debris flow parameters (Rickenmann, 1999).

So kann nach Ansätzen von Corominas (1996), Legros (2002) und Rickenmann (2005) die Mobilität von Rutschungen und Murgängen in Abhängigkeit vom Ereignisvolumen und Pauschalgefälle bestimmt werden. In Laborversuchen analysierte Tsai (2006) die geometrische Veränderung von Murenablagerungen. Er verwendete die maximale Länge L, Breite B sowie Ablagerungshöhe Z des Murkegels zur Beschreibung von morphologischen Ähnlichkeiten. Einen semi-empirischen Ansatz zur Reichweitenbestimmung von Lahars (vulkanische Schlammlawinen) entwickelten Iverson et al., 1998. Dabei wird die Ablagerungsfläche sowie die Querschnittsfläche am Kegel aufgrund des Ablagerungsvolumens ermittelt. Crosta und Agliardi (2003) sowie Berti und Simoni (2007) testeten und modifizierten den Ansatz von Iverson et al. (1998) anhand einer großen Zahl von alpinen Murgängen.

Anhand der in dieser Studie erhobenen Daten sollen einfache Modelle zur Reichweitenbestimmung von Muren für den Alpenraum entwickelt werden. Ein weiteres Ziel ist, bestehende Klassifizierungsmethoden gerinnebasierender Feststofftransporte zu verbessern.

DATENERHEBUNG

Im Zuge einer Diplomarbeit am Institut für Alpine Naturgefahren wurden Muren sowie murartige Ereignisse in ganz Österreich recherchiert und erhoben (Schraml, 2007). Während der Aufarbeitung der Hochwasserereignisse 2005 in der Schweiz (Rickenmann et al., 2007), konnten ebenfalls einige Muren bzw. murartige Ereignisse identifiziert werden.

Der Schwerpunkt der zu erhebenden Daten lag vor allem in der Aufnahme geomorphometrischer Parameter im Bereich der Ablagerung des Ereignisses. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die wichtigsten erhobenen Parameter.

Tab. 1: Übersicht der wichtigsten aufgenommenen Parameter
Tab. 1: Overview of important investigation parameters.

Parameter	Beschreibung
ID	Eindeutige Identifikation
Bachname	Toponym
Datum des Ereignisses	
Prozesstyp	Art des Prozesses
KA_doku	Abgelagertes Volumen laut Ereignisdokumentation
KA_doku_total	gesamtes erodiertes Volumen laut Ereignisdokumentation
KA_analy	Abgelagertes Volumen in GIS geschätzt, aus DOKU, Fotos, LiDAR,...
A_Höhe	durchschnittliche Ablagerungshöhe
A_TYP	Typ der Ablagerung
AW	oberer Öffnungswinkel der Ablagerung
ALmax	maximale Länge der Ablagerung in Fallrichtung
EZG_Fläche	Fläche des Einzugsgebietes
ElevmaxEZG	höchster Punkt im EZG
ELevminEZG	niedrigster Punkt im EZG
avSlope_A	durchschnittliche Neigung der Ablagerung
Prozesslänge L	Reichweite (horiz. Distanz vom obersten Punkt der Ausbruchstelle bis zum entferntesten Punkt der Ablagerung)
Höhendifferenz H	vertikale Distanz vom obersten Punkt der Ausbruchstelle bis zum entferntesten Punkt der Ablagerung
Qmax	Maximaler Abfluss am Ablagerungsbeginn
Fließhöhe	Fließhöhe bei Qmax
v	Fließgeschwindigkeit bei Qmax

Erhobene Ereignisse in Österreich

Die Datenerhebung in Österreich wurde generell sehr stark von der Verfügbarkeit relevanter Ereignisdokumentationen eingeschränkt. Insgesamt konnten 39 Ereignisse aus Österreich zur Auswertung herangezogen werden. Aufgrund der Topographie des alpinen Raumes sind diese Ereignisse vor allem in den westlichen Bundesländern, Vorarlberg, Tirol, Salzburg, Kärnten und Steiermark konzentriert. Aufgrund phänomenologischer Klassifizierungsmerkmale (vgl. Hübl et al., 2002, Hübl et al., 2006) wurden die erhobenen Ereignisse in 12 Murgänge, 10 murartige und 17 fluviatile Feststofftransporte eingeteilt (Tabelle 2).

Tab. 2: Aufgenommene Ereignisse Österreich
Tab. 2: Collected events Switzerland

Bachname (Toponym)	Bundesland	Datum des Ereignisses	Prozesstyp
Frallefrunertobel	Vorarlberg	21. Mai 1999	Mure
Enterbach	Tirol	26. Juli 1967	Mure
Danielastobel	Tirol	22. August 2005	Mure
Gridlontobel	Tirol	30. Juni 1965	Mure
Wartschenbach	Tirol	6. August 1995	Mure
Wartschenbach	Tirol	16. August 1997	Mure
Wartschenbach	Tirol	6. September 1997	Mure
Dornerbach	Kärnten	6. Juli 2004	Mure
Gerlamooserbach	Kärnten	20. Juli 1993	Mure
Edelgraben	Steiermark	3. Juli 1987	Mure
Fuchsgraben/Rachaubach	Steiermark	--	Mure
Steinbach	Steiermark	--	Mure
Bardielbach	Vorarlberg	22. August 2005	murartig
Dürrenbach	Vorarlberg	1987	murartig
Partellstobel	Vorarlberg	1983	murartig
Rauzbach	Vorarlberg	2005	murartig
Öxelbach/Schlitters	Tirol	20. August 1974	murartig
Niedersiller Mühlbach	Salzburg	7. August 1970	murartig
Niedersiller Mühlbach	Salzburg	28. Juli 1971	murartig
Eisbachgraben	Steiermark	3. August 1981	murartig
Gumpenbach	Steiermark	26. Juni 1965	murartig
Moschergraben	Steiermark	17. Juni 1997	murartig
Zürsbach	Vorarlberg	2005	fluviatil
Bäckertal	Tirol	22. August 2005	fluviatil
Fimberbach	Tirol	22. August 2005	fluviatil
Grünbach	Tirol	22. August 2005	fluviatil
Gulgrabenbach	Tirol	23. August 2005	fluviatil
Schnannerbach	Tirol	22. August 2005	fluviatil
Seßlabach	Tirol	22. August 2005	fluviatil
Stubenbach	Tirol	22. August 2005	fluviatil
Gradenbach	Kärnten	31. August 1965	fluviatil
Gradenbach	Kärnten	17. August 1966	fluviatil
Mallnitzbach	Kärnten	September 1965	fluviatil
Teuchlbach	Kärnten	August 1996	fluviatil
Unteralpenbach	Kärnten	6. September 1997	fluviatil
Vordernbergerbach	Kärnten	29. August 2003	fluviatil
Zirknitzbach	Kärnten	2. September 1965	fluviatil
Triebenbach	Steiermark	1907	fluviatil
Triebenbach	Steiermark	1938	fluviatil

Die Volumina der betrachteten Ereignisse bewegten sich zwischen 2.730m³ und 500.000m³. Die Bandbreite der zugehörigen Ablagerungsflächen lag dabei von 8.035m² bis 480.000m².

Erhobene Ereignisse in der Schweiz

Ein durch intensive und großflächige Niederschläge vom 20.-23.8. 2005 ausgelöstes Hochwasser forderte in der Schweiz 6 Todesopfer und verursachte Schäden von insgesamt 3 Mrd. Franken (1,8 Milliarden €). Unmittelbar nach dem Hochwasser 2005 erteilte das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr und Kommunikation UVEK dem damaligen Bundesamt für Wasser und Geologie BWG den Auftrag, die Ursachen und Auswirkungen des Ereignisses zu analysieren (Bezzola und Hegg, 2007). Im Zuge dieser Ereignisdokumentation konnten 13 Murgänge identifiziert werden, die sich für weitere Analysen im Rahmen dieser Studie eignen (Tabelle 3).

Als Unterstützung zur klassischen Dokumentationsmethode wurde zusätzlich die lasergestützte Fernerfassung (LiDAR) eingesetzt und Ihre Tauglichkeit zur Erfassung geomorphometrischer Parameter getestet. Direkt nach den Ereignissen 2005 wurden gezielte LiDAR Flüge für bestimmte Regionen vorgenommen. Die daraus ableitbaren Höhenmodelle nach den Ereignissen wurden mit der Geländesituation vor den Ereignissen verglichen und daraus das Ablagerungsvolumen hergeleitet. (Rickenmann et al., in Vorbereitung:a)

Tab. 3: Aufgenommene Ereignisse Schweiz

Tab. 3: Collected events Switzerland

Bachname (Toponym)	Kanton	Datum des Ereignisses	Prozesstyp
Chratzmattigraben	Bern	22.-23.August 2005	Mure
Closegraben	Bern	22.-23.August 2005	Mure
Glattbach	Bern	22.-23.August 2005	Mure
Glyssibach	Bern	22.-23.August 2005	Mure
Goldbach	Bern	22.-23.August 2005.	Mure
Pletschenbächli	Bern	22.-23.August 2005	Mure
Rotlouwibach	Bern	22.-23.August 2005	Mure
Rütigraben	Bern	22.-23.August 2005.	Mure
Schwendibach	Bern	22.-23.August 2005	Mure
Trachtbach	Bern	22.-23.August 2005	Mure
Holdenbach	Uri	22.-23.August 2005.	Mure
Schisstalbach	Uri	22.-23.August 2005.	Mure
Fangtobel	Obwalden	22.-23.August 2005.	Mure

Die Volumina der betrachteten Ereignisse bewegten sich zwischen 10.000m^3 und 500.000m^3 . Die Bandbreite der zugehörigen Ablagerungsflächen lag dabei von 2.270m^2 bis 100.000m^2

RESULTATE

Die aufgenommenen Daten wurden aufgrund der Erhebungsgrundlagen in 3 Gruppen klassifiziert:

- Muren (Österreich, Schweiz)
- murartige Feststofftransporte (Österreich)
- fluviatile Feststofftransporte (Österreich)

Klassifizierung der Prozesse

Eine Unterscheidung gerinnebasierender Prozesse in Wildbächen erfolgt in der Praxis ausschließlich über geomorphologische Ansprachen. Durch die zeitliche Verzögerung

zwischen Eintritt und Dokumentation des Ereignisses kommt es immer wieder zu Schwierigkeiten in der Klassifikation der aufgetretenen Prozessarten vor Ort. Bardou (2002) präsentierte eine grobe Abgrenzung zwischen Muren und murartigen bzw. fluviatilen Feststoffereignissen indem er die sog. Melton-Zahl (Melton, 1965) dem durchschnittlichen Neigungsgefälle am Kegel gegenüberstellte. Die Melton-Zahl beschreibt den spezifischen Höhenunterschied des Einzugsgebietes bezogen auf die Einzugsgebietsfläche. Abbildung 2 zeigt den Zusammenhang zwischen der Melton-Zahl sowie der Neigung am Ablagerungskegel für die in dieser Studie erhobenen Daten. Nach Bardou (2002) zeigt die Zone A den Bereich der fluviatilen Feststoffprozesse und Zone C den Bereich für Muren an. Dazwischen liegt der Übergangsbereich, Zone B. Diese Einteilung wird durch die erhobenen Ereignisse grob bestätigt.

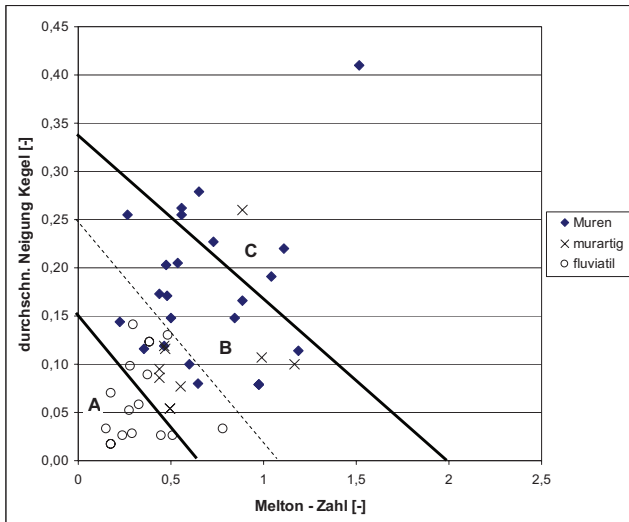


Abb. 2: Melton-Zahl vs. Neigung am Kegel. Gestrichelte Linie: Grenzlinie nach Berti & Simoni (2007).
Fig. 2: Melton-Number vs. av. Fan slope. dashed line: boundary after Berti & Simoni (2007).

Die Gruppe der Muren ist vor allem im oberen Übergangsbereich B bzw. im Bereich C verteilt. Sie grenzen sich damit deutlich von den fluviatilen Ereignissen ab, welche ihren Schwerpunkt im unteren Übergangsbereich B und dem Bereich A haben. Die Gruppe der murartigen Ereignisse ist relativ gleichmäßig im Übergangsbereich B verteilt, ein Hinweis auf das Problem der Differenzierung solcher Prozesse.

Pauschalgefälle vs. Einzugsgebietsfläche

Der Zusammenhang zwischen Pauschalgefälle und Einzugsgebietsfläche lässt sich zunächst für eine grobe Klassifizierung erhobener Ereignisse heranziehen.

Es ist bekannt, dass alpine Muren vor allem in steilen und kleinen Einzugsgebieten (EG) auftreten. Marchi und D'Agostini (2004) analysierten 127 Muren in den Italienischen Alpen wovon 125 Ereignisse Einzugsgebiete kleiner 20 km² bei einem Längsgefälle des Gerinnes größer 10% aufwiesen. In der Aufarbeitung der Schweizer Murereignisse von 1987 (VAW 1992) wurden 82 Muren betrachtet. Die maximal dokumentierte Einzugsgebietsfläche lag bei

22 km², das minimale Pauschalgefälle betrug 19%. Rickenmann et al. (in Vorbereitung:b) unterteilen die beobachteten Fließgewässer der Hochwasserereignisse 2005 in der Schweiz aufgrund der Einzugsgebietsgrösse und des Längsgefälles des Gerinnes. Sie unterschieden Wildbäche mit einer maximalen Einzugsgebietsgröße von 25 km² bei einem Längsgefälle größer 5-10% von den maßgeblich durch Geschiebetransport beeinflussten flacheren Gebirgsflüssen. Murgänge traten nur in Einzugsgebieten mit Flächen kleiner 25km² auf. Als charakteristisch für Wildbäche wurden dabei Ablagerungen außerhalb des Gerinnes im Kegelbereich, wie sie vor allem bei Muren bzw. murartigen Ereignissen vorkommen, beschrieben. Diese Beobachtungen werden von den Ereignissen dieser Studie bestätigt (siehe Abbildung 3). Der Grenzwert der EG-Größe, hier ebenfalls mit 25 km² angenommen (blau gestrichelte Linie), wird nur von den fluviatilen Ereignissen überschritten.

Sind Einzugsgebiet und Pauschalgefälle bekannt, so kann außerdem eine Aussage über die maximal mögliche Auslauflänge gemacht werden. Zimmermann et al. (1997) postulierten ein minimales Pauschalgefälle für Muren, abhängig von der Größe des Einzugsgebietes. Sie fanden folgenden Zusammenhang:

$$fm = 0,20 \cdot A^{-0,20} \quad \text{Glg. 1/Equ. 1}$$

A bezeichnet die Fläche des zugehörigen Einzugsgebietes und fm das Pauschalgefälle.

$$\tan fm = \frac{H}{L} \quad \text{Glg. 2/Equ. 2}$$

Der Quotient H/L entspricht hier der Neigung der Visurgeraden vom entferntesten Punkt der Ablagerung bis zum obersten Punkt der Ausbruchsstelle, wobei L als Reichweite zu bezeichnen ist.

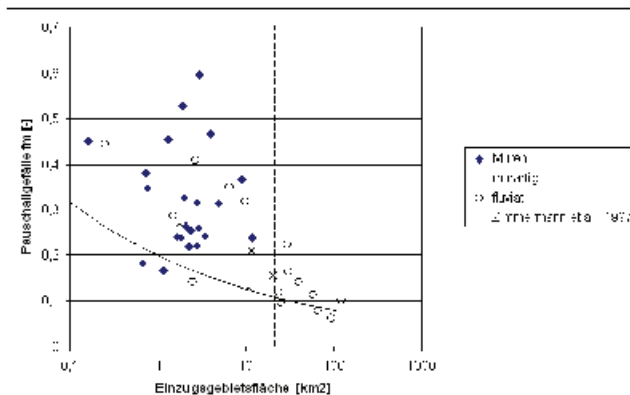


Abb. 3: Pauschalgefälle vs. Einzugsgebietsfläche; Gestrichelte Linie: Grenzlinie EZG 25km²

Fig. 3: Equivalent friction angle vs. catchment's area; dashed line: boundary catchment area 25 km²

Es zeigt sich, dass die erhobenen Daten gut dem Ansatz des minimalen Pauschalgefälles nach Gleichung 1 entsprechen. Ist die Lage des potentiellen Anbruchsgebietes bekannt, so kann die maximale mögliche Auslauflänge bestimmt werden. Als erster Anhaltspunkt für eine räumliche Gefahrenabgrenzung von Murgängen kann der Ansatz nach Gleichung 1 verwendet werden.

Pauschalgefälle vs. Volumen

Bei Massenverlagerungsprozessen ohne eindeutigen Ablagerungsbeginn (Steinschlag, Felssturz, Bergsturz) wird oft das Pauschalgefälle zur Reichweitenbestimmung herangezogen. Scheidegger (1973) und Iverson (1997) fanden bei der Analyse von Felsstürzen, dass ein Zusammenhang zwischen dem Pauschalgefälle und dem Volumen des Ereignisses existiert. Corominas (1996) übernahm diesen Ansatz für die Bestimmung der Reichweiten von Rutschungen und Murgängen. Basierend vor allem auf Murenereignissen in der Schweiz fand Rickenmann (1999) folgenden Zusammenhang zwischen Pauschalgefälle und Volumen:

$$L = 1,9 \cdot M^{0,16} \cdot H^{0,83}$$

Glg. 3/Equ. 3

H entspricht dabei der vertikalen Distanz vom obersten Punkt der Ausbruchsstelle bis zum entferntesten Punkt der Ablagerung.

In Abbildung 4 sind die Österreichischen und Schweizer Muren Daten mit dem Ansatz nach Rickenmann (1999) verglichen. Man erkennt, dass die Daten mehr oder weniger um Gleichung 3 streuen.

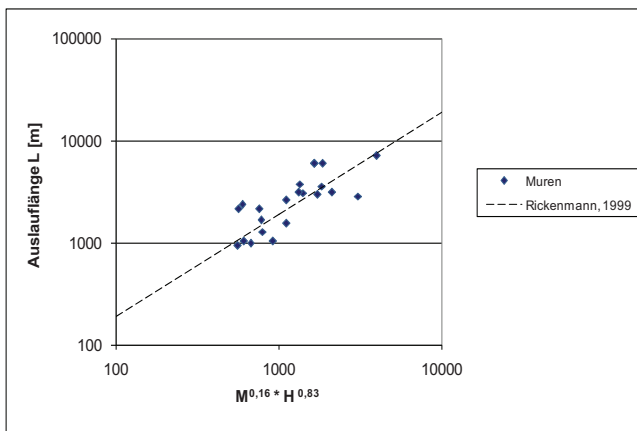


Abb. 4: Zusammenhang zwischen der maximalen Auslauflänge und dem Volumen.

Fig. 4: Total travel distance vs. event magnitude

Damit kann unabhängig von der Größe des Einzugsgebietes nach Abschätzen des Volumens (Geschiebepotential im Anbruchsgebiet) und des potentiellen Anrissgebietes die potentielle Reichweite für Muren bestimmt werden.

Ereignisvolumen vs. Ablagerungsfläche

Basierend auf Überlegungen geometrischer Ähnlichkeiten und Überlegungen zum Fließverhalten entwickelten Iverson et al. (1998) für Lahars folgende theoretische Zusammenhänge zwischen dem Ereignisvolumen V , der planimetrischen Ablagerungsfläche B sowie der Querschnittsfläche der Ablagerungen A .

$$A = k_1 \cdot V^{2/3}$$

Glg. 4/Equ. 4

$$B = k_2 \cdot V^{2/3}$$

Glg. 5/Equ. 5

In einem ersten Schritt wurde hier vor allem der theoretische Zusammenhang zwischen Ereignisvolumen und planimetrischer Ablagerungsfläche, im Hinblick der Reichweitenbestimmung von Muren, betrachtet. Durch eine statistische Auswertung der Daten von 27 Lahars, ermittelten Iverson et. al (1998) den Koeffizienten $k_2 = 200$. Eine

weitere Datenreihe stammt von Yu et al. (2006), die sechs Murgänge im Einzugsgebiet des Chen-You-Lan (Taiwan) zur Kalibrierung verwendeten. Für granulare Murgänge in den Norditalienischen Alpen bestimmten sowohl Crosta et al. (2003) als auch Berti et al. (2007) den Koeffizienten k_2 nach Gleichung 5. Tabelle 4 gibt einen Überblick der Ergebnisse der unterschiedlichen Studien zur Beziehung zwischen planimetrischer Ablagerungsfläche und Volumen.

Tab. 4: Ergebnisse verschiedener Prozessarten für Gleichung 5; aus internationalen Publikationen.

Tab. 4: Results for Equation 5 derived for different process types derived from international studies.

Studie	Art des Ereignisses	Region, Ort	Anzahl n	Koeff. k_2	Korr. Koeff. R^2
Iverson et al. (1998)	Lahars	USA, Kolumbien, Philippinen	27	200	0,90
Waythomas et al. (2000)	Vulkanische Erdbeben	Alaska	~ 10	91,7	0,90
diese Studie	murartige, fluviatile Feststofftransporte	Alpen, Österr., Schweiz	27	58	0,91
Capra et al. (2002)	Erdbeben + Muren	trans mexikan. Vulkangürtel	~ 15	54,9	0,79
Iverson et al. (1998)	Nicht vulkanische Muren	USA, Kanada	6	51	0,94
diese Studie	Muren	Alpen, Österr., Schweiz	20	39	0,64
Berti & Simoni (2007)	Muren	Alpen, Norditalien	24	33	0,80
Yu et al. (2006)	Muren	Xueshan, Taiwan	6	28,8	0,94
Griswold (2004)	Muren	USA	44	19	0,91
Crosta et al. (2003b)	granulare Murgänge	Alpen, Norditalien	~ 91	6,2	0,96

Von den erhobenen Daten wurden 5 Ereignisse aus der Schweiz sowie 1 Ereignis aus Österreich nicht berücksichtigt. Dies erschien sinnvoll, da ein Großteil der Ablagerung direkt durch den Vorfluter weitertransportiert wurde. Die dokumentierten Ablagerungsflächen unterschätzen dabei die tatsächlich möglichen Ausdehnungen am Kegel.

Neben den erwähnten Resultaten für Murgänge sind auch Ergebnisse von Lahars, Erdbeben sowie granularen Murgängen angegeben. Es ist erkennbar, dass, Felsstürze und Murgänge eine geringere Mobilität aufweisen als beispielsweise Lahars. Nachfolgende graphische Darstellungen zeigen die Abhängigkeit der planimetrischen Ablagerungsflächen vs. Volumen für die Daten dieser Studie.

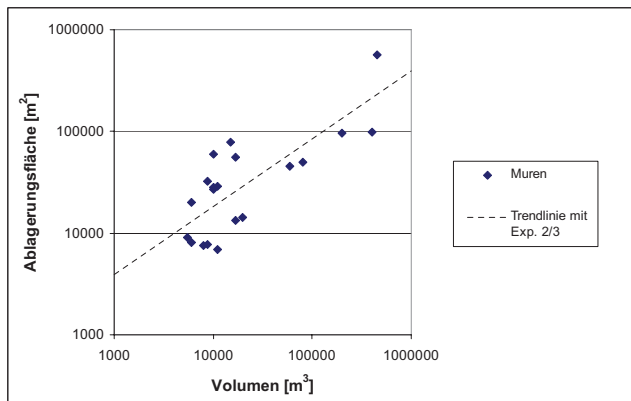


Abb. 5: Beziehung V vs. B mit Murendaten dieser Studie. Regressionsgerade nach Gleichung 5.

Fig. 5: Relation V vs. B using debris flow data of this study, best-fit equation 5.

In Abbildung 5 sind die erhobenen Murenereignisse aus Österreich und der Schweiz nach Gleichung 5 mit $k_2=39$ dargestellt.

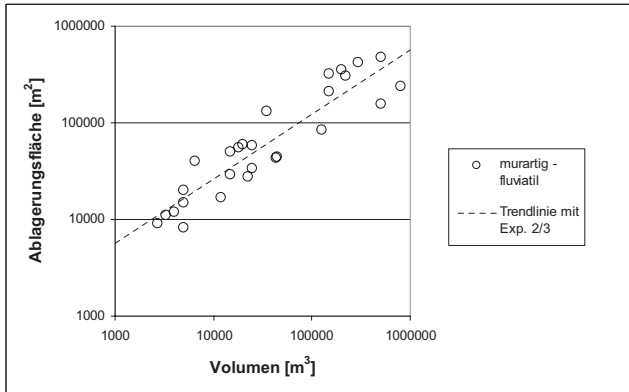


Abb. 6: Beziehung V vs. B murartiger u. fluviatiler Daten dieser Studie. Regressionsgeraden nach Gleichung 5.

Fig. 6 : Relation V vs. B using debris flow like and fluviatil data of this study, best-fit equation 5.

Analog dazu zeigt Abbildung 6 den Zusammenhang zwischen Ereignisvolumen und Ablagerungsfläche für murartige und fluviatile Ereignisse in Österreich nach Gleichung 5 mit $k_2 = 58$.

DISKUSSION UND AUSBLICK

Zur Bestimmung der Reichweite von Feststoffprozessen in Wildbäche können prinzipiell zwei Ansätze unterschieden werden. Der analytische Lösungsansatz versucht das Ablagerungsverhalten aufgrund physikalischer Grundbedingungen zu beschreiben. Diese Studie präsentiert ausschließlich empirische Zusammenhänge, welche sich in der Literatur etabliert haben. Die Vorteile einer empirischen Herangehensweise liegen in der meist leichten Anwendbarkeit begründet auf der Verwendung einfach zu bestimmender Parameter. Zu beachten ist jedoch, dass empirische Beziehungen immer nur für eine bestimmte Fragestellung und für ein bestimmtes Anwendungsgebiet (Prozessart, Topographie, Material,...) Gültigkeit besitzen. Die allgemeine Verwendbarkeit ist damit in Frage gestellt.

Die hier vorgestellten Ergebnisse beruhen auf ersten Daten, welche im Rahmen einer breit angelegten Ereignis-Recherche gesammelt wurden. Dabei zeigen die erhobenen Ereignisse eine gute Korrelation mit der vorgestellten Klassifizierung der Prozesse sowie mit einigen empirischen Zusammenhängen zur Bestimmung der Auslaufängen.

Ebenfalls konnte gezeigt werden, dass die Daten zu den in Österreich und der Schweiz erhobenen Muren bzw. murartigen Ereignissen im Vergleich zu anderen Studien als plausibel einzustufen sind. Um jedoch das totale Ablagerungsverhalten von murartigen Prozessen bzw. Muren abbilden zu können, sind noch weiterführende Untersuchungen mit Bezug weiterer Daten notwendig.

LITERATUR

- Bezzola, G. R., Hegg C. (Ed.) (2007): „Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung“. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0707. 215 S.
- Bezzola, G. R., Hegg C. (Ed.) (in Vorbereitung): „Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 2 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung“. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL.
- Bardou, E. (2002): „Methodologie de diagnostic et prevision des laves torrentielles sur un basin versant alpin“. These no. 2479, Ecole Polytechnique Federale Lausanne.
- Berti, M. und Simoni A. (2007): „Prediction of debris flow inundation areas using empirical mobility relationships“. *Geomorphology*, 2007, 90, 144-161.
- Capra, L., Macias, J.I., Scott, K.M., Abrams, M., Gardunomonroy, V.H. (2002): „Debris avalanches and debris flows transformed from collapses in the Trans-Mexican Volcanic Belt“. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2002, 113, 81-110.
- Corominas, J. (1996): „The angle of reach as mobility index for small and large landslides“. *Can. Geotech. Journal*, 1996, 33, 260-271.
- Crosta, G.B., Cucchiario, S., Frattini, P. (2003): „Validation of semiempirical relationships for the definition of debris-flow behaviour in granular materials“. *Proc. 3rd International Conference on Debris Flows Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment*. Millpress, Rotterdam, 2003, pp. 821–831.
- Griswold, J.P. (2004): „Mobility statistics and hazard mapping for nonvolcanic debris flows and rock avalanches“. Masters thesis, Portland State University, USA.
- Hübl, H., Kienholz H., Loipersberger A. (2002): „DOMODIS. Documentation of Mountain Disasters“. Schriftenreihe der Internationalen Forschungsgesellschaft Interpraevent, Handbuch 1, Klagenfurt 2002.
- Hübl, J., Habersack, H., Kienholz, H., Schnetzer, I., Agner, P., Ganahl, E., Moser, M., Scheidl, Ch., Kerschbaumsteiner, W., Schmid, F. (2006): „Disaster Information System of Alpine Regions (DIS-ALP)“. Methodik Teil 1, IAN Report 101, Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur-Wien (unveröffentlicht).
- Iverson, R. M.; Schilling, S. P. und Vallance, J. W. (1998): „Objective delineation of lahar-inundation hazard zones“. *GSA Bulletin*, 1998, 110, 972-984.
- Iverson, R.M. (1997): „The physics of debris flows“. *Reviews of Geophysics*, 1997, 35, 245–296
- Legros, F. (2002): „The mobility of long-runout landslides“. *Engineering Geology*, 2002, 63, 301–331.
- Marchi, L., D’Agostino, V. (2004): „Estimation of debris-flow magnitude in the eastern Italian alps“. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2004, 29, 207-220.
- Melton, M.A. (1965): „The geomorphic and paleoclimatic significance of alluvial deposits on southern Arizona“. *Journal of Geology*, 1965, 73, 1–38.
- Rickenmann, D. (1999): „Empirical Relationships for Debris Flows“. *Natural Hazards*, 1999, 19, 47-77.
- Rickenmann, D. (2005): „Runout prediction methods“. In: Jakob, M., Hungr, O., *Debrisflow Hazards and Related Phenomena*, 2005, 305-324; Springer, Chichester.
- Rickenmann, D., Hunzinger, L., & Cosandey, A.-C. (2007): „Gerinneprozesse“. In: Bezzola, G.R.; Hegg, C. (eds) *Ereignisanalyse Hochwasser 2005. Teil 1 - Prozesse, Schäden und erste Einordnung*. Bern, Bundesamt für Umwelt BAFU, Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, 163-180.
- Rickenmann, D., Koschni, A., Scheidl, C., Chiari, M., Canuto, N. (in Vorbereitung:a): „Feststoffrachten in Wildbächen und Gebirgsflüssen“. In: Bezzola, G.R.; Hegg, C. (eds)

- Ereignisanalyse Hochwasser 2005. Teil 2 – Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahregrundlagen. Bern, Bundesamt für Umwelt BAFU, Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL.
- Rickenmann, D., Hunzinger L., Koschni A. (in Vorbereitung:b): „Hochwasser und Sedimenttransport während des Unwetters vom August 2005 in der Schweiz“. In: Internationales Symposium Interpraevent 2008: Dornbirn (Austria).
- Scheidegger, A. E. (1973): „On the prediction of the reach and velocity of catastrophic landslides“. *Rock Mechanics*, 1973, 5, 231-236.
- Schraml, C. (2007): „Ablagerung von Feststoffen auf Wildbachkegeln“. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien.
- Tsai, Y.-F. (2006): „Three-Dimensional Topography of Debris-Flow Fan“. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2006, 132, 3, 307 – 318.
- Übagger, G. (1972): „Retendieren, Dosieren und Sortieren“. *Mitteilungen der forstl. Bundesversuchsanstalt Wien*, 102, 335 - 372.
- Yu, F., Chen, C., Chen, T., Hung, F., Lin, S. (2006): „A GIS Process for delimitating areas potentially endangered by debris flows“. *Natural Hazards*, 2006, 37, 169-189.
- VAW (1992): „Murgänge 1987, Dokumentation und Analyse“. Bericht Nr.: 97.6 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich. Unveröffentlicht.
- Waythomas, C. F., Miller, T. P., and Beget, J. E. (2000): „Record of Late Holocene debris avalanches and lahars at Iliamna Volcano, Alaska“. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 104, 1, 97-130.
- Zimmermann, M., Mani, P., Gamma, P., Gsteiger, P., Heiniger, O., Hunziker G. (1997): „Murganggefahr und Klimaänderung – ein GIS basierter Ansatz“. Schlussbericht NFP31, ETH, Zürich.