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

**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

**Band:** 106 (2014)

**Heft:** 3

**Artikel:** Gefahrenkartierung von Murgängen : numerische Modellsimulationen im Vergleich zu empirischen, analytischen Methoden

**Autor:** Walser, Marco / Huggel, Christian / McArdell, Brian

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-939751

**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:** 03.07.2025

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

# Gefahrenkartierung von Murgängen

## Numerische Modellsimulationen im Vergleich zu empirischen, analytischen Methoden

*Marco Walser, Christian Huggel, Brian McArdell, Christoph Graf*

**Zusammenfassung**

*Die Fortschritte der letzten Jahre bei der praktischen Anwendung von dynamischen und kinematischen Modellen zur Simulation von Murgang-Fliessverhalten bereichern die Gefahrenbeurteilung um eine objektive Methode. Um deren Eignung in Bezug auf die Gefahrenkartierung zu untersuchen, wurden Murgang-Gefahrenkarten, die ausschliesslich auf Modellsimulationen beruhen, verglichen mit den konventionell erstellten, offiziellen Karten. Die Resultate zeigen eine gute Übereinstimmung. Sorgfältiges Modellieren von Murgängen in Kombination mit Beurteilungen im Feld kann daher als vielversprechende Methode zur Gefahrenbeurteilung betrachtet werden.*

Gefahrenkarten sind ein Verbindungsglied zwischen der prozessbezogenen Grundlagenforschung und der Raumplanung, welches die Naturgefahren gesetzlich berücksichtigt. Um der raumplanerischen Verbindlichkeit der Gefahrenbeurteilung Rechnung zu tragen, diese der Gesellschaft zu kommunizieren und eine einheitliche Beurteilung zu garantieren, ist eine objektive und reproduzierbare Gefahrenkartierung eine wichtige Voraussetzung. Bis anhin basieren Murgang-Gefahrenkarten vorwiegend auf der Analyse von historischen Ereignissen, empirisch hergeleiteten Kennwerten und Expertenwissen. Diese konventionelle Methode führt zwar zu einer angemessenen Gefahrenbeurteilung, entspricht aber auch einer subjektiven Einschätzung des Experten und ist daher schwierig zu reproduzieren und zu vergleichen. Die Fortschritte der letzten Jahre bei der praktischen Anwendung von dynamischen und kinematischen Modellen zur Simulation von Murgang-Fliessverhalten bereichern die Gefahrenbeurteilung um eine Methode, die mehr Objektivität verspricht. Modellsimulationen, ihre Analyse und Überprüfung sind ein zentrales Thema der Forschung. Es fehlen allerdings Arbeiten, welche die neuesten Modellgenerationen auf ihre Eignung zur Unterstützung der Gefahrenkartierung evaluieren und sie mit konventionellen Methoden vergleichen. Mit dieser Studie soll daher durch den Vergleich von Gefahrenkarten, die konventionell gefertigt wurden, mit solchen, die ausschliesslich auf numerischen Simulationen beruhen, ein weiterer Schritt hin zur adäquaten, objektiven und besser nachvollziehbaren Gefahrenkartierung gemacht werden.

### 1. Modellierung und Sensitivität

Die Grundlage dieser Studie bilden die Murgangsimulationen für elf Gerinne in zwei Untersuchungsgebieten in den Schweizer Alpen. Gadmen und Leissigen sind zwei Gemeinden im Berner Oberland, welche sich aufgrund ihrer topografischen Gegebenheiten und der bisher beobachteten und erwarteten Ereignis-Magnituden für diese Studie gut eignen, da sie typischen, von Murgängen betroffenen Schweizer Gemeinden entsprechen. Zudem sind die offiziellen Gefahrenkarten nicht durch dieselben Büros erstellt worden.

Die Modellierungen wurden mit dem Simulationsprogramm RAMMS (Modul Debrisflow 1.6.20) der eidgenössischen Forschungsanstalt WSL (*Christen et al.*, 2010) realisiert, welches auf die nachfolgend erläuterten Input-Parameter angewiesen ist:

- Um die Modellresultate mit den offiziellen Karten zu vergleichen, wurden die Abschätzungen der Murgangvolumen aus den technischen Berichten der jeweiligen Gefahrenkarten verwendet (*Geotest*, 2007 und *Geo7*, 2008), und zwar für jeweils 30-, 100- und 300-jährliche Szenarien.
- Die Spitzenabflüsse der Murgänge wurden anhand einer empirischen Formel nach *Rickenmann* (2005) berechnet und sind abhängig von den erwähnten Murgangvolumen. Durch den Gehalt an Feststoffen, die Kumulation von aufgestautem Wasser und die Übersättigung an Bodenmaterial sind die Spitzenabflüsse von Murgängen um ein Vielfaches höher als jene von Wasser ohne Geschiebe.
- Die Modellkalibration anhand historischer Ereignisse resultiert in gebietsspezifischen Reibungsparametern ($\xi$ und $\mu$).
- Als digitales Höhenmodell (DHM) wurde swissALTI3D verwendet.
- Die Fliessgeschwindigkeit des Murganges zu Beginn der Simulation ist von untergeordneter Bedeutung, da sie anhand der Hangneigung fortlaufend berechnet wird und sich daher mit zunehmender Distanz zum Startpunkt den Gegebenheiten anpasst.

Die Simulationen wurden anhand eines Input-Hydrographen initialisiert, da es sich für alle untersuchten Gerinne um kanalisierte Murgänge handelt. Der Input-Hydrograph definiert den Durchfluss an einem bestimmten Querschnitt im Gerinne als Funktion der Zeit (*Bartelt et al.*, 2011).

Die Sensitivitätsanalyse ist auf die relevanten Inputparameter beschränkt *(Bild 1)*. Für das Murgangvolumen wurde erwartungsgemäss eine lineare Abhängigkeit zur bedeckten Fläche festgestellt. Somit resultiert eine Überschätzung des Murgangvolumens in einer prozentual ähnlich hohen Überschätzung der betroffenen Fläche und umgekehrt. Diese Feststellung ist nur vertretbar mit Rücksicht auf die Ausbreitungsmöglichkeit des Murgangs und beschränkt sich auf eher kleine Murgangmagnituden.

Das Model ist nur wenig sensitiv auf Spitzenabflüsse (bei gleichbleibenden Volumen), diese haben keinen expliziten Einfluss auf das Ausmass der bedeckten Fläche, im Speziellen für Spitzenabflüsse kleiner als 1000 $m^3/s$, wie sie in dieser Arbeit untersucht wurden.

Einen sehr grossen und linearen Einfluss hingegen hat der Reibungsparameter μ auf die relative Reichweite des Murgangs. Der die basale Reibung bestimmende Parameter μ resultiert im Bereich von 0.1–0.2 in einem Reichweitenunterschied von 200 m (bei einer möglichen Reichweite auf dem Kegel von ca. 800 m). Der Einfluss des turbulenten Reibungskoeffizienten ξ ist für die untersuchten Gerinne unwesentlich. Er bestimmt primär die Fliessgeschwindigkeit im Gerinne.

Die grössten Unsicherheiten der Modellierung liegen daher in der Abschätzung der Eingangsparameter, insbesondere der Mugangvolumen, aber auch in der Kalibration des Modells anhand (weniger) historischer Ereignisse und der damit verbundenen Bestimmung des Reibungsparameters μ.

## 2. Kartierung

Die Modellsimulationen liefern die Murgangfliesshöhen und -fliessgeschwindigkeiten für jede Gitterzelle entlang der Fliesswege. Zur Bestimmung der Intensitätsklassen gelten die offiziellen Empfehlungen (*BWW*, 1997) *(Bild 2)*. Die Intensitäten aller drei Szenarien (30-, 100- und 300-jährlich) wurden in einem Geoinformationssystem (GIS) gemäss der 3×3-Matrix für Gefahrenkartierungen *(Bild 2)* zu einer Gefahrenkarte verschnitten *(Bild 3)*. Um die modellierten Gefahrenkarten besser mit den offiziellen Karten zu vergleichen, wurden die Resultate in einem weiteren Arbeitsschritt manuell generalisiert.

## 3. Vergleich

Ein visueller Vergleich der modellierten (oben) und der offiziellen Karten (unten) für Gadmen *(Bild 4)* und für Leissigen *(Bild 5)* zeigt auf den ersten Blick eine grundsätzlich gute Übereinstimmung. Die Tendenz zu kleineren gefährdeten Zonen auf den modellierten Karten beruht vor allem auf den folgenden zwei Aspekten:

(1) Die gelben Gefahrenzonen der offiziellen Gefahrenkarten für Hochwasser werden dem Prozess Überschwemmung zugeschrieben, da nach den Empfehlungen 1997 keine Wertebereiche für schwache Intensität definiert sind und entsprechend keine geringe Gefahrenstufe für Murgänge zugewiesen werden kann. Dies steht im Widerspruch zum Gefahrenstufendiagramm, welches einem 300-jährlichen Ereignis bei mittlerer Intensität eine geringe bis mittlere Gefahr zuweisen würde *(Bild 2)*. Dies ist auch der Fall für die modellierten Karten. Daher können die gelben Zonen der beiden Karten nicht miteinander verglichen werden und die Unstimmigkeit in Theorie und Praxis sollte diskutiert werden.

(2) Die grösser gehaltenen blauen Zonen in der offiziellen Karte von Gadmen *(Bild 4)* für den Spreitbach (rechts) und den Bündengraben (dritter von rechts) sind auf die Art der Berücksichtigung historischer Ereignisse zurückzuführen. Da dem Ereigniskataster keine Spezifikationen zu Fliesscharakter und Morphologie der Ablagerungen zu entnehmen sind, ist die eindeutige Prozesszuteilung dieser Ereignisse schwierig. Ob in älteren Beschrieben eine sedimentgesättigte Überflutung oder ein Murgang klassiert und kartiert wurde, ist oft nicht zu unterscheiden.

Abgesehen von den erwähnten Unstimmigkeiten der gelben Zonen sind die Gefahrenzonen für Leissigen ähnlich *(Blld 5)*. Einzig die blaue Zone des Griessbachs (links) wird von den Modellresultaten deutlich grösser angenommen. Die Unterschiede der roten Zonen dürften auf die Beurteilung im Feld zurückzuführen sein, da sie mögliche Verklausungen an Brücken und daraus resultierendem Ausbruch aufzeigen. Die kürzere Auslaufdistanz aus der Simulationen beruht auf der

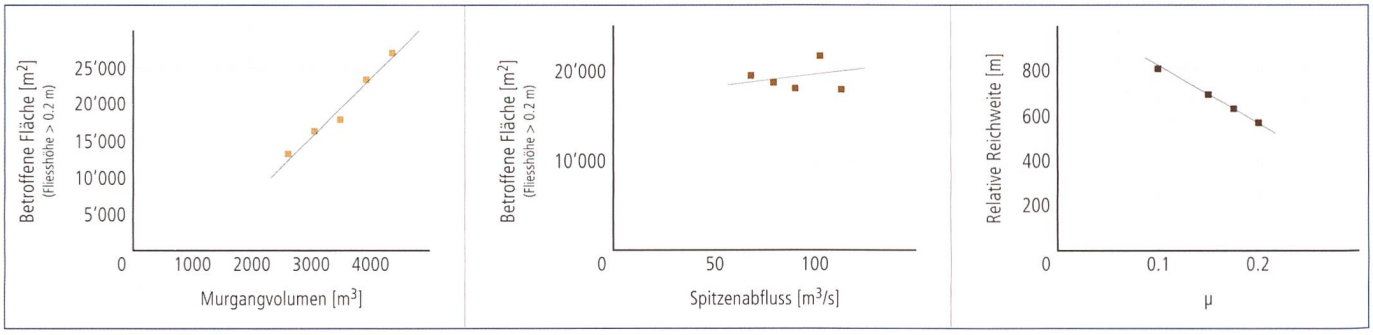


***Bild 1. Sensitivität der Inputparameter Murgangvolumen (links) und Spitzenabfluss (Mitte) auf die vom Murgang betroffene Fläche sowie die Sensitivität des Reibungsparameters μ (rechts) in Bezug auf die relative Reichweite des Murgangs.***

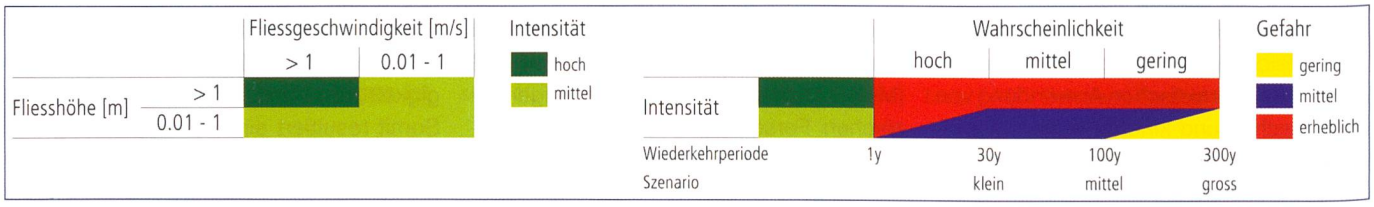


***Bild 2. Intensitätenklassifikation aufgrund der Fliesshöhe und der Fliessgeschwindigkeit des Murgangs (links) und das Gefahrenstufendiagramm (rechts) (BWW,1997).***

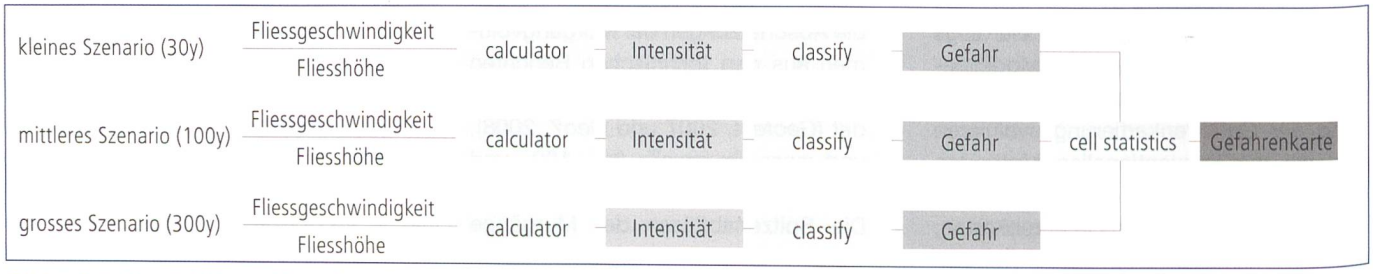


***Bild 3. Arbeitsschritte zur Verschneidung der Modellresultate (Fliessgeschwindigkeit und Fliesshöhe) zur Gefahrenkarte in ArcGIS.***

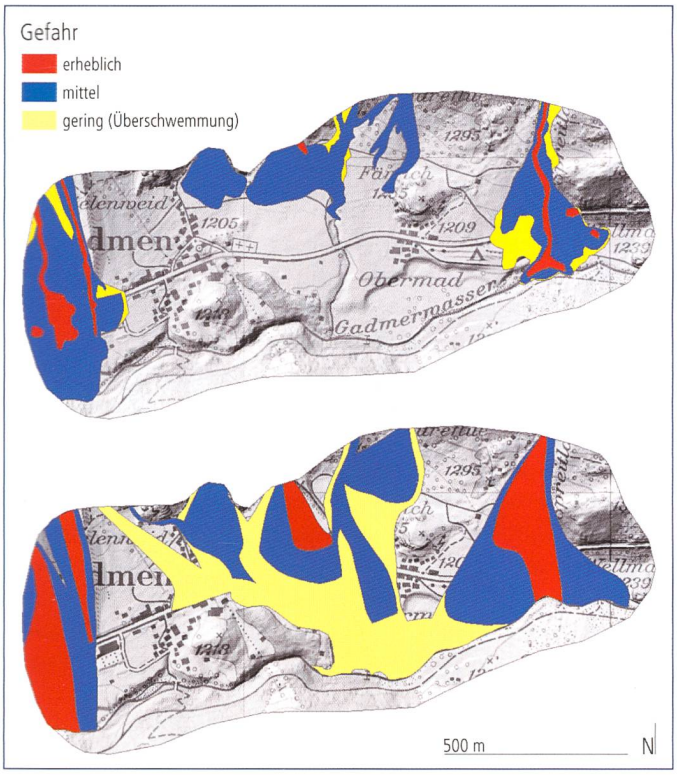


***Bild 4. Manuell generalisierte Murgang-Gefahrenkarte von Gadmen, basierend auf Modellsimulationen (oben), und die offizielle, konventionelle Murgang-Gefahrenkarte von Geotest AG, 2007 (unten).***

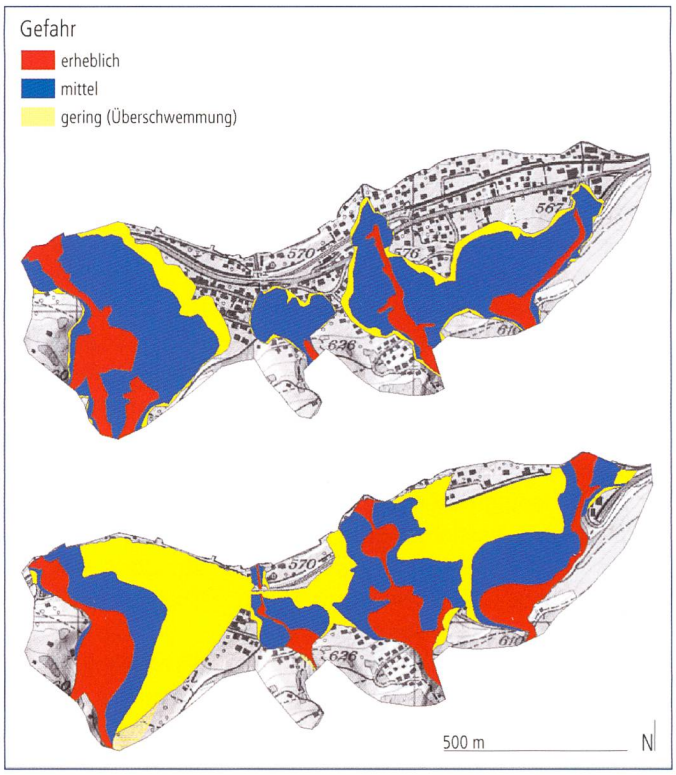


***Bild 5. Manuell generalisierte Murgang-Gefahrenkarte von Leissigen, basierend auf Modellsimulationen (oben), und die offizielle, konventionelle Murgang-Gefahrenkarte von Geo7, 2008 (unten).***

einphasigen Modellierung des Murgangs, welche keine Unterscheidung zwischen festen und flüssigen Anteilen zulässt und entsprechend die Entwässerung eines Murganges nicht wiedergeben kann.

## 4. Diskussion

Aufgrund der Resultate und Erfahrungen dieser Arbeit können die folgenden Aspekte hinsichtlich der Praxis der Murgangkartierung und dem Potenzial der Murgangsimulationen genauer erläutert werden:

- Die Empfehlungen zur Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten aus dem Jahr 1997 sind für die Anwendung auf Simulationsresultate problematisch, da sich deren Resultate auf diskrete Werte beziehen. Als Beispiel ist etwa anzuführen, dass vom Murgang betroffene Rasterzellen mit sehr geringer Fliesshöhe und mit Fliessgeschwindigkeiten über 1 m/s für ein 100-jährliches Ereignis aufgrund der resultierenden hohen Intensität als blaue Zone ausgeschieden werden. Dies hebt die Schwäche des Klassifikationsschemas für seine Anwendung auf Simulationsresultate hervor. Ein weiterer Konflikt zwischen den Empfehlungen und den Simulationen ist die Tatsache, dass sich die konventionelle Methode auf die Ablagerungshöhe (statisch) bezieht, wobei aus der Simulation aber die Fliesshöhe (dynamisch) resultiert. Dies führt vor allem in steilem Gelände zu Schwierigkeiten und Unterschieden in der Beurteilung. Die Frage, ob nun die Ablagerungshöhe oder die Fliesshöhe die adäquatere Variable ist, ist ebenfalls klärungsbedürftig.
  Es ist aber festzuhalten, dass die aktuell gültige Klassifikation für die konventionelle Gefahrenbeurteilung durchaus geeignet ist, da sich das Ablagerungsvolumen mit dem mobilisierbaren Material deckt und die Fliessgeschwindigkeit von der Hangneigung abhängig ist.
- Das Murgangvolumen ist eine sehr wichtige Eingangsgrösse und typischerweise Basis der Szenariendefinition und somit stark bestimmend für die Gefahrenbeurteilung (ob konventionell oder auf Simulationen beruhend). Da diese Abschätzung mit enormen Unsicherheiten behaftet ist, relativieren sich die oben festgestellten Unterschiede zwischen den modellierten und den offiziellen Gefahrenkarten. Da die Murgang-Spitzenabflüsse über eine empirische Formel berechnet wurden, beziehen sie sich auf das Murgangvolumen. Dies kann zu Folgefehlern bei der Bestimmung der Spitzenabflüsse führen. Generell lässt sich sagen, dass die Forschung der systematischen Untersuchung des Einflusses von verschiedenen Murgangstypen und -volumen auf deren Auslauf und Ausbreitung bis jetzt zu wenig Gewicht beigemessen hat. Im Zuge von vermehrter Nutzung von Modellierungen für die Gefahrenkartierung sollte dieser Aspekt genauer analysiert werden, damit entsprechende Unsicherheiten transparenter gemacht werden können.
- Historische Ereignisse sind sowohl für die konventionelle Gefahrenkartierung als auch für die Arbeit mit Modellsimulationen sehr wichtig. Für die Kalibration des Modells ist ein gut dokumentiertes Ereignis essenziell. Wie bereits erwähnt, können aufgrund von fehlenden Spezifikationen der Ablagerungen Abschätzungen gemacht werden, welche eine falsche Kartierung, beruhend auf konventionellen Methoden, oder eine unzureichende Kalibration des Modells zur Folge haben.
- Einschränkungen des Modells an sich können zu Fehleinschätzungen der Murganggefahr führen. So resultiert

aus der einphasigen Modellierung des Murgangs, welcher nur eine Fliesscharakteristik zuweisbar ist, eine Unterschätzung der sedimentgesättigten Überschwemmung im Frontbereich des Murgangs. An der bis anhin fehlenden Implementierung der Tiefenerosion wird zurzeit gearbeitet. Das entsprechende Modul dürfte 2015 als Beta-Test-Version verfügbar sein. Die fehlende Berücksichtigung der Levée-Bildung führt zu weiteren Abweichungen für Auslaufdistanz und Fliesshöhe.

- Die Topografie ist eine der wichtigsten Inputgrössen der Simulation, da sie die Fliessrichtung des Murganges definiert. Das DHM muss daher auf dem neusten Stand sein, was bei hoch aufgelösten Höhenmodellen aus praktischen und finanziellen Gründen oft schwierig ist. Inwiefern Gebäude, Strassen usw. in der Modellierung berücksichtigt werden sollen, ist eine weitere Frage, die sich in dicht besiedelten Gebieten aufdrängt, weil solche Bauten entscheidenden Einfluss auf die Murgangausbreitung haben können. Auch die Variabilität der Topografie ist zu beachten, da sich die Ausganslage zwischen Ereignissen über Jahre als auch zwischen einzelnen Schüben in wenigen Stunden entsprechend verändert. Diesen Überlegungen muss aber auch die Unsicherheit der Input-Parameter, im Speziellen der Murgangvolumen, entgegengestellt werden. Wie sinnvoll das genaueste Modell ist, wenn sehr unsichere Input-Parameter den grössten Einfluss haben, ist fragwürdig.

## 5. Schlussfolgerungen

Die Fallstudien zeigen eine gute Übereinstimmung mit Tendenz zu geringerer Ausprägung der modellierten Gefahr im Vergleich zur offiziellen Gefahrenkarte. Sorgfältiges Modellieren in Kombination mit Beurteilungen im Feld kann und muss daher als vielversprechende Methode zur Gefahrenbeurteilung betrachtet werden. Das heisst, Modellsimulationen müssen immer von eingehenden Felduntersuchungen begleitet sein und können nie alleinige Quelle für die Gefahrenkartierung sein.

Weitere Untersuchungen in Bezug auf den Einfluss von Unsicherheiten der Input-Variablen auf die Kartierung sind noch ausstehend. Auch die Prüfung weiterer Standorte wäre nötig, um die erarbeiteten Grundlagen weiterzuentwickeln.

Die Erkenntnisse unterstreichen die Notwendigkeit der Überarbeitung und Ergänzung der bestehenden Empfehlungen mit Rücksicht auf den Einsatz und die Möglichkeiten von Modellsimulationen zur Gefahrenbeurteilung von Murgängen. Die Erarbeitung eines adäquaten Klassifizierungsschemas und neuer Richtlinien ist daher zu begrüssen.

Die Resultate dieser Studie legen nahe, dass die Kombination von konventionellen Techniken mit Modellsimulationen zu einer verbesserten und vor allem objektiven und reproduzierbaren Murgangkartierung führen können. Expertenwissen gilt auch bei der Anwendung von Modellsimulationen nach wie vor als wichtigste Voraussetzung, um Simulationsresultate korrekt einzuordnen und richtig zu interpretieren.

Literatur


*BWW* (1997). Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bundesamt für Wasserwirtschaft.

*Christen, M., Kowalski, J., Bartelt, P.,* (2010). RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain. Cold Regions Science and Technology, Vol. 63, 1–2, pp. 1–14.

*Geotest* (2007). Gadmen, Gefahrenkarte: Bericht zur Gefahrenkarte. GEOTEST AG, Birkenstrasse 15, 3052 Zollikofen.

*Geo7* (2008). Gefahrenkarte Leissigen: Technischer Bericht. Geo7 AG, Neufeldstrasse 5-9, 3012 Bern.

*Rickenmann, D.,* (2005). Runout prediction methods. In: Jakob, M. und Hungr, O. (Hrsg.): Debris-flow hazards and related phenomena. Springer Berlin Heidelberg 2005, 305–321.

*Bartelt, P., Buehler, Y., Christen, M., Deubelbeiss, Y., Graf, C., Mcardell, B.,* (2011). RAMMS user manual v1.4.

*Walser, M., et al.* (2014): Inwiefern eignen sich numerische Modellsimulationen für die Gefahrenkartierung von Murgängen – ein Vergleich. Agenda FAN 1/2014, 21–23.

*Walser M.,*(2013). Hazard mapping for debris flows. Empirical, analytical techniques compared to numerical model simulations. Masterarbeit am Geographischen Institut der Universität Zürich (Prof. Dr. A. Vieli, Dr. B. McArdell (WSL), Dr. C. Huggel).



Anschrift der Verfasser

*Marco Walser*, Geog Instit. Universität Zürich
marcowalser@gmx.net

*Christian Huggel*, PD Dr. Geog Instit. Universität Zürich

*Brian McArdell*, Dr. WSL Birmensdorf

*Christoph Graf*, WSL Birmensdorf


***WEL-Info***

**«Bildformate»**

**.eps** — ***Encapsulated PostScript:*** Besonders für Strichabbildungen und Grafiken geeignet, da es auf pixel- und/oder vektororientierter* Struktur basiert.

**.tif(f)** — ***Tagged Image File Format:*** Dateiformat zur verlustfreien Speicherung von Bilddaten. Oftmals wird das TIFF-Format durch eine verlustfreie LZW-Komprimierung ergänzt.

**.jpg** — ***Joint Photographic Expert Group:*** Kompressionsmethode für Farb- und Graustufenbilder mit dynamischem Kompressionsgrad.

**.gif** — ***Graphic Interchange Format:*** Kompressionsmethode für Farb- und Graustufenbilder mit dynamischem Kompressionsgrad.

**.pdf** — ***Portable Document Format:*** Plattformunabhängiges Dateiformat, das Dokumente wie Bilder, Grafiken oder Texte eines Ursprungprogramms sehr präzise wiedergibt.

**.wmf** — ***Windows MetaFile:*** Ein von der Firma Microsoft entwickeltes Dateiformat, das zur Speicherung von Vektorgrafiken* dient.

**.ai** — ***Adobe Illustrator:*** Adobe Illustrator ist ein professionelles Programm zur Erstellung und Bearbeitung von Vektorgrafiken* für den Print-Bereich und das Web.

**.psd** — ***(Adobe) PhotoShop Document:*** Wird als eines der funktionsreichsten Bildbearbeitungsprogramme angesehen und hat sich als Industriestandard durchgesetzt.

**.png** — ***Portable Network Graphics:*** Ist ein Grafikformat mit verlustfreier Bildkompression. Es unterstützt neben unterschiedlichen Farbtiefen auch Transparenz.

* Eine ***Vektorgrafik*** ist eine Computergrafik, die aus grafischen Primitiven wie Linien, Kreisen, Polygonen oder allgemeinen Kurven (Splines) zusammengesetzt ist.