

Dokumentation von spontanen flachgründigen Rutschungen und Hangmuren

Christian Rickli

Zusammenfassung

Bei Starkregenereignissen werden oft zahlreiche spontane Rutschungen und Hangmuren ausgelöst. Aus der Dokumentation solcher Ereignisse ergeben sich wertvolle Erkenntnisse zu Entstehung und Ablauf von Hangprozessen. Diese sind eine wichtige Basis für die Erstellung von Gefahrengrundlagen. In der WSL-Rutschungsdatenbank sind im Feld erhobene Informationen zu Rutschungen erfasst, die während Unwetterereignissen der letzten 20 Jahre entstanden sind. Zur Datenbank existiert eine Web-Applikation, auf welcher die Daten eingesehen werden können und die auch den Export ausgewählter Daten erlaubt. Im vorliegenden Beitrag sind beispielhaft einige Auswertungen zur Geologie, zur Vegetation und zum Auslauf der Hangmuren dargestellt.

Keywords

Rutschung, Hangmuren, Datenbank, Dokumentation, Geologie, Vegetationswirkung

Documentation des glissements de terrain spontanés de faible profondeur et laves torrentielles

Résumé

Lors de fortes précipitations, des glissements de terrain peu profonds et des laves torrentielles se produisent souvent. La documentation de ces événements fournit des informations précieuses sur la formation et le déroulement de ces processus. Elles constituent une base importante pour la création de la documentation sur les dangers. La base de données du WSL sur les glissements de terrain contient des informations recueillies sur le terrain au sujet des glissements de terrain qui se sont produits lors d'événements météorologiques importants au cours des 20 dernières années. Une application web existe pour la base de données, sur laquelle les données peuvent être consultées et qui permet également l'exportation de données sélectionnées. Cet article présente quelques exemples d'évaluations de la géologie, de la végétation et sur le déclenchement des laves torrentielles.

Mots-clés

Glissement de terrain, laves torrentielles, base de données, documentation, géologie, effets sur la végétation.

HINWEIS:

Dieser Artikel wurde für die Kursunterlagen zum FAN-Herbstkurs 2019 mit Thema «Umgang mit flachgründigen Rutschungen und Hangmuren» verfasst und steht nun in leicht überarbeiteter Form für das Mitteilungsblatt des Vereins für Ingenieurbiologie zur Verfügung.

Documentare movimenti di versante superficiali spontanei e colate detritiche

Riassunto

In caso di forti precipitazioni, spesso si innescano numerose frane spontanee e colate detritiche di versante. La documentazione di tali eventi fornisce preziose informazioni sull'origine e la dinamica dei processi su pendii. Queste sono una componente importante per la creazione di basi di pericolo. Il database delle frane del WSL contiene informazioni raccolte sul campo sulle frane che si sono verificate durante i gravi eventi atmosferici degli ultimi 20 anni. Esiste un'applicazione web per la banca dati, sulla quale è possibile visualizzare i dati e che consente anche l'esportazione dei dati selezionati. In questo articolo vengono presentati alcuni esempi di valutazioni della geologia, della vegetazione e del movimento delle frane.

Parole chiave

Frane, movimenti di versante, banca dati, documentazione, geologia, influsso della vegetazione

1. Einleitung

Während Unwettern entstehen verbreitet flachgründige Rutschungen und Hangmuren [Abbildung 1] mit zum Teil erheblichen Schadenfolgen [Hilker et al. 2009]. Im Rahmen der Ereignisanalyse der Unwetter im August 2005 wurden beispielsweise weit über 5000 Hangprozesse dokumentiert [Bezzola & Hegg [Ed.] 2007]. Die überwiegende Mehrheit davon waren flachgründige Rutschungen und Hangmuren. Im Folgenden werden verschiedene Aspekte im Zusammenhang mit der Dokumentation solcher Ereignisse dargestellt. Zudem werden die WSL-Rutschungsdatenbank sowie einiger Beispiele von Datenauswertungen beschrieben.



Abb. 1: Beispiel einer Hangmure, welche durch die Starkniederschläge vom August 2005 in Flühli LU ausgelöst wurde. | Fig. 1: Exemple d'une lave torrentielle provoquée par les fortes précipitations du mois d'août 2005 à Flühli LU.

Rutschungen und Hangmuren sind nachfolgend in Verein-fachung als Rutschungen bezeichnet.

2. Grundlagen und Hinweise zur Dokumentation von Gefahrenprozessen

Daten und Informationen zu Naturgefahrenereignissen sind wertvoll für ein besseres Verständnis der Prozesse. Ereignisdokumentationen sind deshalb im Rahmen des integralen Risikomanagements wichtige Elemente [Abbildung 2] und tragen zur Erstellung von Gefahrengrundlagen bei. Aus den gemachten Erfahrungen können Lehren gezogen und Massnahmen umgesetzt werden, um in Zukunft besser gewappnet zu sein. Zu den Zielen von Ereignisdokumentationen zählen 1) Überblick und Abschätzung des Ausmasses der Ereignisse sowie der entstandenen Schäden, 2) Abschätzung des Aufwandes für die Behebung der Schäden und 3) Ermittlung der notwendigen Massnahmen zur Verbesserung der Gefahrensituation. Bei Ereignissen mit vielen Rutschungen können namentlich auch die massgebenden Einflussgrössen auf die Auslösung der Rutschungen und den Auslauf der Rutschmassen festgehalten und analysiert werden.

Als Hilfsmittel bei der Dokumentation von Naturereignissen dienen insbesondere die folgenden Grundlagen: das Handbuch DOMODIS [Hübl et al. 2006] sowie die Feldanleitung der Plattform Naturgefahren der Alpenkonvention [PLAN-ALP 2006]. Da schon bald nach einem Ereignis Aufräum- und Instandstellungsarbeiten in Angriff genommen werden, spielt der Zeitpunkt der Dokumentation eine entscheidende Rolle. Je zeitnaher die Erhebungen erfolgen, desto präziser lassen sich die Prozesse beurteilen.

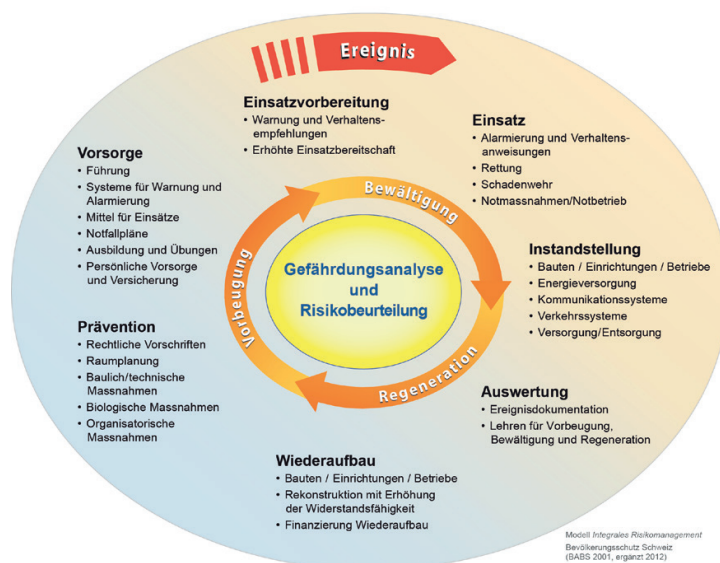


Abb. 2: Kreislauf integrales Risikomanagement: Ereignisdokumentation sowie die entsprechenden Lehren im Rahmen der Regeneration nach Ereignissen [BABS 2014]. | Fig. 2: Cycle de la gestion intégrale des risques : documentation des événements et enseignements correspondants tirés de la régénération après les événements [FOCP 2014].

In der Schweiz sind die Kantone gemäss Wald- und Wasserbaugesetz verpflichtet, Gefahrenkataster zu führen, wobei entsprechende Aufwendungen mit bis zu 80% abgegolten werden. Der Bund stellt den kantonalen Fachstellen die dazu erforderlichen Instrumente zur Verfügung: den **Naturereigniskataster StorMe** sowie die entsprechenden Erhebungsformulare. Die Entwicklung von StorMe begann 1996 [Ruf 2013]. Derzeit ist die dritte Version des Katasters kurz vor Fertigstellung [BAFU 2019]. Zur Erfassung eines Schadenereignisses in StorMe gehören Basisinformationen zu Ort, Zeit, Hauptprozess [Wasser, Rutsch, Sturz, Lawine oder Einsturz/Absenkung] sowie Angaben zu den auslösenden Wetterbedingungen und entstandenen Schäden. Zusätzlich werden Detailinformationen zum Prozess [bei Rutschungen z.B. Informationen zur Auslösung, Ablagerung und zum Prozessraum] und allenfalls weitere Beobachtungen protokolliert.

Im Unterschied zur Rutschungsdatenbank der Eidg. Forschungsanstalt WSL [vgl. Kap. 4 und 5] werden in StorMe üblicherweise nur Ereignisse erfasst, bei denen Schäden aufgetreten sind oder wo bestehende bzw. potentiell zukünftige Siedlungsräume und Infrastrukturanlagen betroffen sind. Für beide Datenbanken sind ähnliche Parameter zu erheben. Der Detaillierungsgrad ist jedoch bei der WSL-Rutschungsdatenbank wesentlich höher. Dies zeigt sich unter anderem auch daran, dass bei Inventaren für die Rutschungsdatenbank der WSL pro Tag maximal zwei bis drei Rutschungen im Feld dokumentiert werden können. Die erfassten Daten werden periodisch nach StorMe übertragen, umgekehrt findet jedoch kein Datentransfer statt. In Katastern werden Ereignisse fortlaufend festgehalten. Im Gelände sind jedoch in der Regel auch Spuren von Ereignissen erkennbar, welche in den Katastern nicht dokumentiert sind. Diese sogenannte «stummen Zeugen» zeigen auf, was sich früher ereignet hat bzw. was momentan abläuft [Kienholz und Graf 2000]. Sie werden in der **Karte der Phänomene** dargestellt. Die dadurch dokumentierten Prozessräume und Zeugnisse liefern wertvolle Hinweise zur Ausscheidung potenzieller Gefahrenbereiche, helfen bei der Abschätzung der Wiederkehrperiode, der Festlegung von Szenarien und bei der Eichung von Prozesssimulationen [Kienholz und Krummenacher 1995, BAFU 2016]. Neben Beurteilungen vor Ort können auch Methoden der Fernerkundung [Luftbilder, Orthophotos, LIDAR mit Darstellung des Oberflächenmodells als «hillshade»] bei der Erstellung von Ereigniskataster und der Karte der Phänomene wertvolle Dienste leisten. Weitere Angaben zu früheren Prozessen finden sich auch in Chroniken.

3. Rutschung oder Hangmure?

Für Hangprozesse existieren zahlreiche Definitionen und Klassifizierungssysteme [z.B. Hungr et al. 2014]. Gemäss

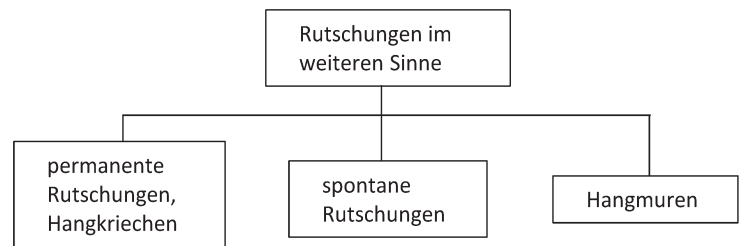


Abb. 3: Klassifikation von Rutschungen im weiteren Sinne [AGN 2004; siehe auch BAFU 2016]. | Fig. 3: Classification des glissements de terrain au sens large [AGN 2004 ; cf. aussi OFEV 2016].

AGN [2004] können Rutschungen im weiteren Sinne unterschieden werden in permanente Rutschungen oder Hangkriechen, spontane Rutschungen und Hangmuren [Abbildung 3]. Als spontane Rutschung wird eine Lockergesteinsmasse bezeichnet, die aufgrund eines plötzlichen Verlustes der Scherfestigkeit des Bodens unter Ausbildung einer Gleitfläche schnell abgleitet. Flachgründige Rutschungen sind nach BAFU [2016] spontane Rutschungen, deren Gleitflächen sich in einer Tiefe von weniger als 2 m befinden. Bei starker Verflüssigung der Rutschmasse kann das Gemisch aus Lockergestein und Wasser über grössere Strecken über den Hang als sogenannte Hangmure abfließen – dies im Gegensatz zu Murgängen, die topographisch an ein Gerinne gebunden sind. Neben dem Verlust der Scherfestigkeit kann auch hydraulischer Grundbruch zu Hangmuren führen.

Hangmuren und flachgründige Rutschungen sind von der bodenmechanischen Entstehung her unterschiedliche Prozesse. Bei flachgründigen Rutschungen findet ein Scherbruch statt. Bei den Hangmuren spielen sich jedoch Vorgänge ab, welche einem hydraulischen Grundbruch ähnlich sind. Zwischen den beiden Phänomenen bestehen graduelle Übergänge. Im Feld sind solche Unterschiede häufig nicht genau eruierbar [Bollinger et al. 2009]. Die Unterscheidung zwischen spontanen Rutschungen und Hangmuren kann im Gelände aufgrund der Verlagerung des Rutschungsmaterials und des entsprechenden Erscheinungsbildes erfolgen [WSL/BAFU 2018]. Bei spontanen Rutschungen sind noch einige grössere kompakte Schollen der bewegten Lockergesteinsmasse erkennbar und die Auslaufstrecke ist meist kürzer als die doppelte Länge des Rutschungsanrisses. Als Hangmuren werden Prozesse bezeichnet, bei denen die Auslaufstrecke mehr als die doppelte Länge der Rutschung beträgt und das bewegte Material überwiegend stark verflüssigt ist, so dass in der Ablagerung kaum mehr kompakte Schollen sichtbar sind.

4. Rutschungsinventare

Im Verlauf der letzten Jahre wurden in verschiedenen Ländern des Alpenraumes zahlreiche Rutschungsinventare

erstellt [Rickli et al. 2019]. Dabei werden unterschiedliche Ziele verfolgt [Guzzetti et al. 2012]: 1) Erhebung des Ausmasses der Ereignisse, 2) Beschreibung der Verteilung der Prozesstypen und deren Ausprägungen, 3) Grundlage oder Vorstufe zu einer Gefahrenhinweiskarte und 4) Untersuchungen zur Landschaftsentwicklung. Je nach Zielsetzung liegt der Fokus eher auf der Wissenschaft [z.B. Analyse Einflussfaktoren Auslauf] oder der Praxis [z.B. für Gefahrengrundlagen]. Verschiedene Typen von Inventaren sind bekannt [Hagen et al. 2015]:

- Archivinventar [oder historisches Inventar]: Informationen zu Rutschungen aus Literatur, Chroniken und Archiven. Zeigt die kumulierte Auswirkung mehrerer Ereignisse in einem Gebiet.
- Ereignisinventar: Inventar von Rutschungen, die durch das gleiche, auslösende Auslöseereignis (z.B. Starkniederschlag, Schneeschmelze, Erdbeben) entstanden sind.
- Langzeitinventar: mittels Auswertung von Luftbildern unterschiedlichen Datums können z.B. saisonale Inventare oder Inventare über noch längere Zeitperioden (z.B. mehrere Jahrzehnte) erstellt werden.

In der Schweiz entstanden in der Vergangenheit vor allem Ereignisinventare. Dabei wurde nach Unwettern jeweils in einer besonders stark betroffenen Region ein Untersuchungsperimeter ausgeschieden (Abbildung 4) und dann innerhalb der Perimetergrenzen alle Rutschungen mit einem Volumen von mehr als 30 m³ im Feld dokumentiert. Beabsichtigt wurden damit einerseits bessere Kenntnisse zur Disposition und zum Auslauf der Hangmuren im Hinblick auf die Erstellung von Gefahrengrundlagen sowie andererseits eine Verbesserung der Datengrundlage für wissenschaftliche Zwecke. Je nach Art und Durchführung einer Inventur ergeben sich bestimmte Vor- und

Nachteile [Schmaltz et al. 2017]. Die Vorteile der von uns angewendeten Methode des Ereignisinventars liegen in der Erfassung des vollständigen Spektrums der bei einem bestimmten Niederschlag entstandenen Hangprozesse sowie im Bezug zu Vegetation, Geologie und Topographie des Untersuchungsgebietes. Der Zeitaufwand für die Felddokumentationen ist jedoch bei dieser Art der Dokumentation erheblich.

5. WSL-Rutschungsdatenbank

Die Eidg. Forschungsanstalt WSL beurteilte seit 1997 nach Schadenereignissen jeweils zahlreiche flachgründige Rutschungen und Hangmuren (Tabelle 1). Ursprünglich waren die Felddaten der verschiedenen Inventare in separaten, nicht öffentlich zugänglichen Datenbanken gespeichert. Diese konnten nun in eine umfassende Datenbank überführt werden, welche gemeinsam mit dem Bundesamt für Umwelt BAFU erarbeitet wurde. Zur Datenbank existiert eine Web-Applikation (<https://hangmuren.wsl.ch/>),

Ereignisjahr	Gebiet (Anzahl Rutschungen)	Total Rutschungen
1997	Sachseln (n=280)	280
2002	Napf (n=64), Appenzell (n=107), Surselva * (n=35)	206
2005	Napf (n=58), Entlebuch (n=90), St. Antönien (n=69)	217
2012	Eriz * (n=38)	38
2014 **	Kanton BE (n=12), AI (n=1), AR (n=1), GR (n=2)	16
1997-2014		757

Tabelle 1: Aktueller Datenumfang der WSL-Rutschungsdatenbank; Unwetterereignisse mit vielen Rutschungen und Erhebung durch die WSL. * Erhebung im Rahmen von Diplomarbeiten mit Betreuung durch WSL; ** Erhebungen durch ausgewählte Ingenieurbüros. | Tableau 1 : Volume de données actuelles de la base de données du WSL sur les glissements de terrain; intempéries avec de nombreux glissements de terrain et enquête du WSL. * Enquête dans le cadre de travaux de diplôme encadrés par le WSL; ** Enquête en 2014 par une sélection de bureaux d'ingénieurs.

auf welcher die Informationen eingesehen werden können und die den Export ausgewählter Daten erlaubt. Neben der Bearbeitung wissenschaftlicher Fragestellungen leistet die Datenbank wertvolle Dienste bei der Erstellung von Gefahrengrundlagen wie Gefahrenhinweis- oder Gefahrenkarten.

Jede Rutschung ist in der Datenbank mit über 100 Parametern beschrieben. Diese sind den nachfolgenden Hauptkapiteln zugeordnet:

- Grunddaten und Messungen (Nummerierung, Lokalisierung, Zeitinformation, Abmessungen)
- Beurteilung Rutschhang (geologische/tektonische Lage, Morphologie, Hydrologie, Vegetation/Nutzung)
- Charakterisierung Rutschung (Prozess und Auslauf, Boden, Geologie, Schutzbauten)
- Schäden (Menschen und Tiere, Infrastruktur, Sachwerte)
- Meteorologie (auslösender Niederschlag, Witterung)
- Förder- und Auslösefaktoren
- Metadaten (Erhebung, bestehende Gefahrengrundlagen)

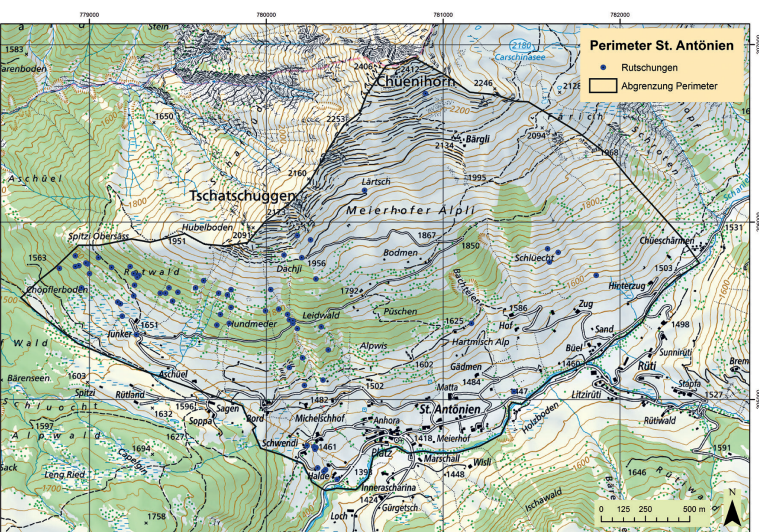


Abb. 4: Beispiel eines Untersuchungsgebietes: Inventar der Rutschungen in St. Antönien GR [Unwetter 2005]. | Fig. 4: Exemple d'une zone d'étude : inventaire des glissements de terrain à St. Antönien GR [intempéries 2005].

Die Datenbank enthält zudem Skizzen, Bilder und weitere Informationen wie z.B. GIS-Daten der Ablagerungen. Für die Nachvollziehbarkeit zentral ist eine Anleitung, wie die zu erhebenden Parameter definiert sind und wie sie beurteilt werden sollen. Gleichzeitig mit der Erstellung der neuen Datenbank wurden die bestehende Anleitung und die entsprechenden Erhebungsformulare überarbeitet (WSL/BAFU 2018). Die Dokumentation kann im Feld sowohl wie bisher mit Papierformularen als auch mit einem feldtauglichen Tablet durchgeführt werden. Auf dem Tablet sind neben den Eingabe-Masken für die einzelnen Parameter auch die bereits früher erfassten Rutschungen sowie die Feld-Anleitung mit den entsprechenden Parameterdefinitionen ersichtlich.

Die WSL-Rutschungsdatenbank umfasst derzeit (Stand September 2019) Informationen zu insgesamt 757 flachgründigen Rutschungen und Hangmuren, die sich hauptsächlich während acht Starkregen-Ereignissen in verschiedenen Gebieten der Schweiz lösten (Tabelle 1). Im Fall von künftigen Unwettern mit zahlreichen Hanginstabilitäten wird das BAUFU in Absprache mit der WSL und in Abhängigkeit von Geologie und Gebiet über neue Erhebungen entscheiden. Diese können z.B. auch im Rahmen von Aufträgen des BAUFU an Ingenieurbüros erfolgen. Dabei ist sowohl die Dokumentation von einigen wenigen ausgewählten, besonders interessanten Rutschungen denkbar, oder auch eine umfassende Erhebung in einem klar bezeichneten und abgegrenzten Perimeter (bei primär wissenschaftlicher Zielsetzung).

6. Auswertungen ausgewählter Parameter

Mit der Web-Applikation der WSL-Rutschungsdatenbank können Daten ausgewählt und in eine Excel-Datei exportiert werden. Damit sind auf einfache Weise Auswertungen zu verschiedenen Fragestellungen möglich. Nachfolgend sind einige Beispiele aufgeführt, wobei die entsprechenden Ergebnisse nur dargestellt sind, ohne sie im Detail zu interpretieren.

Geologie: Zu jeder Rutschung sind in der Datenbank unter anderem die tektonische Lage¹ und die Hauptlithologie² erfasst. Dies erfolgte nicht im Feld, sondern nachträglich mittels Verschneiden der digitalen Geologischen Karte der Schweiz 1:500'000 bzw. des Geologischen Atlas der Schweiz 1:25'000 mit den Positionsdaten der Rutschung. Am meisten Rutschungen ereigneten sich gemäss Abbildung 3 und untenstehender Aufzählung in den Gebieten der Helvetische Decken und der verschiedenen Molasse-Ty-

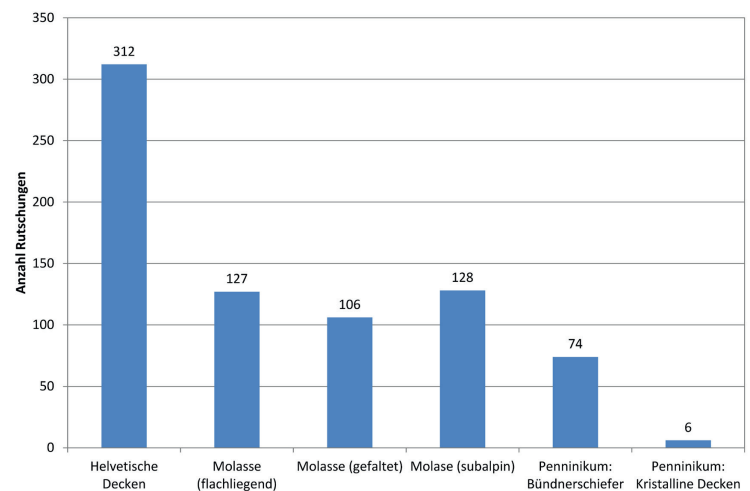


Abb. 5: Tektonische Lage der Rutschungen und Anzahl pro Einheit. | Fig. 5: Localisation tectonique des glissements de terrain et nombre par unité.

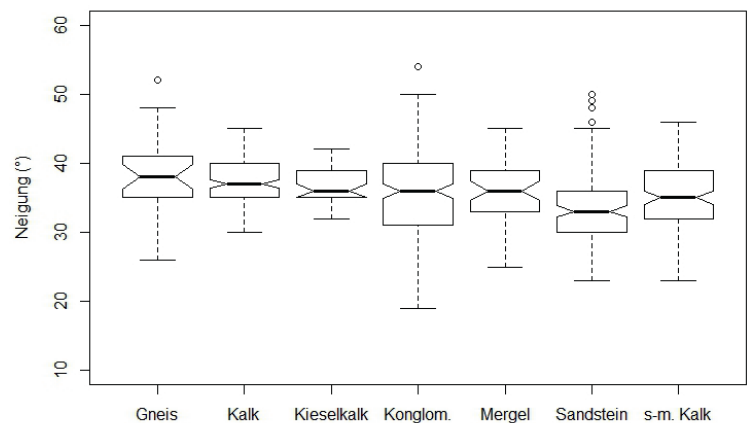


Abb. 6: Neigungsbereiche von Rutschungen in verschiedenen Hauptlithologien [Konglom. = Konglomerate, s-m. Kalk = schiefriger bis mergeliger Kalk]. | Fig. 6: Domaines d'inclinaison des glissements de terrain dans différentes lithologies principales [Konglom = conglomérats, s-m. Kalk = pierre calcaire à caractère schisteux à marneux].

pen (siehe auch Tabelle 1 für Anzahl Rutschungen in den Inventaren).

- Helvetische Decken: hauptsächlich Inventare Sachseln und Surselva
- Flachliegende Molasse: hauptsächlich Inventare Napf 2002 und Napf 2005
- Gefaltete Molasse: hauptsächlich Inventar Appenzell 2002
- Subalpine Molasse: hauptsächlich Inventare Entlebuch 2005 und Eriz 2012
- Bündner Schiefer: hauptsächlich Inventar St. Antönien 2005

¹ Tektonik: geologischer Aufbau/Struktur

² Lithologie: Gesteinsart

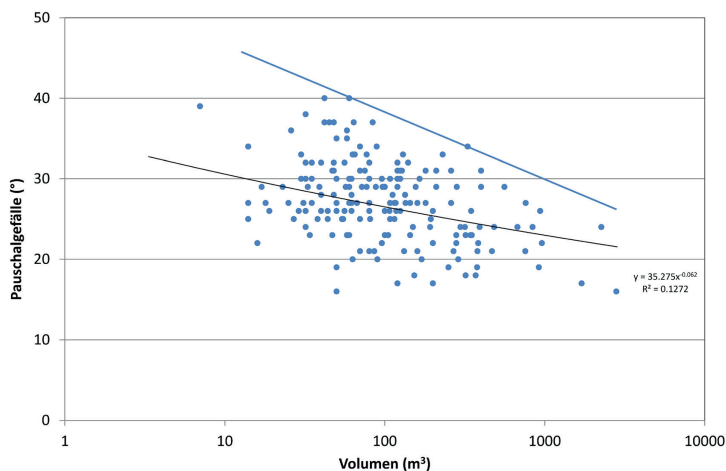


Abb. 7: Zusammenhang zwischen Pauschalgefälle und Volumen der Hangmuren [n=185]. x-Achse mit logarithmischem Massstab; blaue Linie: maximale Pauschalgefälle, schwarze Linie: Regressgerade. | Fig. 7: Relation entre la pente globale et le volume des coulées de boue [n=185]. Axe des x avec échelle logarithmique ; ligne bleue : pente globale maximale, ligne noire : ligne de régression

In Abbildung 6 sind die Neigungsbereiche der Rutschungen in den am häufigsten vorkommenden Hauptlithologien dargestellt. Der Median der Neigungen ist bei Rutschungen mit Hauptlithologie Gneis mit 38° am höchsten und bei Rutschungen im Sandstein mit 32° am niedrigsten.

Auslauf Rutschmasse: Bei jeder Rutschung wurden im Feld unter anderem die Auslaufstrecke und das Pauschalgefälle bestimmt (jeweils vom Anriss bis zum Ende der Ablagerung gemessen). Abbildung 5 zeigt, dass mit zunehmendem Volumen die Pauschalgefälle tendenziell kleiner werden, wobei die Streuung der Daten erheblich ist. Die maximalen Pauschalgefälle (obere Begrenzungslinie in blau) liegen bei kleineren Rutschungen mit Volumen um 100 m³ etwa bei 40° und bei Volumen um 1000 m³ etwa bei 30°. Zu bemerken ist, dass nur bei etwa einem Viertel der Rutschungen

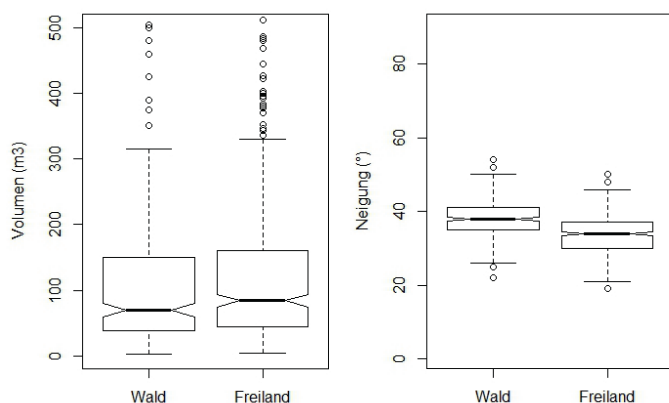


Abb. 8: Unterschiede zwischen Rutschungen im Wald und im Freiland. Links: Volumen [Wald: n=279, Freiland: n=340]; rechts: Neigungen [Wald: n=305, Freiland: n=357]. | Fig. 8: Différences entre les glissements de terrain en forêt et en terrain libre. A gauche : volumes [forêt: n=279, terrain libre: n=340] ; à droite : inclinaisons [forêt: n=305, terrain libre: n=357].

[n=185] der Auslauf ungestört war und nicht bis in ein Gerinne reichte, so dass ein aussagekräftiger Wert für das Pauschalgefälle ermittelt werden konnte.

Vegetation: In Abhängigkeit der Vegetation beim Anriss wurden die Rutschungen entweder dem Wald oder dem Freiland zugeordnet. Die Waldrutschungen entstanden in vergleichsweise steileren Lagen und umfassten ein kleineres Volumen als Rutschungen im Freiland [Abbildung 6]. Zu berücksichtigen ist dabei, dass Wald meist in steileren Lagen vorkommt.

7. Folgerungen

Die ausführliche Dokumentation von Gefahrenprozessen nach Unwetterereignissen ist sehr wichtig. Im Ereignisfall sollte ihr deshalb trotz Überlastung/Zeitmangel gebührend Rechnung getragen werden. Das dargestellte Vorgehen zur Erfassung von Daten bei Rutschungen und die neue Datenbank leisten wertvolle Beiträge bei der Erstellung von Gefahrengrundlagen. Bei künftigen Ereignissen sollte die Datenbank nach Möglichkeit mit weiteren Felddaten ergänzt werden.

Dank

Für die wertvollen Hinweise zum Manuskript bedanke ich mich bei Alexandre Badoux, Frank Graf, Christoph Graf und Roland Wyss.

Literatur

Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren AGN [2004]. Gefahreinstufung Rutschungen i.w.S. Entwurf im Auftrag des Bundesamtes für Wasser und Geologie, 17 S. + Anh.

Bezzola, GR., 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.

Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS [2014]. Integrales Risikomanagement. Bedeutung für den Schutz der Bevölkerung und ihrer Lebensgrundlagen, 20 S.

Bundesamt für Umwelt BAFU [2016]. Schutz vor Massenbewegungsgefahren. Vollzugshilfe für das Gefahrenmanagement von Rutschungen, Steinschlag und Hangmuren. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1608, 98 S.

Bundesamt für Umwelt BAFU [2019]. Naturereigniskataster StorMe: Erhebungsformulare, Erfassungsrichtlinie und Anwendungshandbuch StorMe 3.0.

Bollinger, D., Gruner, U., Wyss, R. [2009]. Hochwasser August 2005 – Analyse der Hanginstabilitäten. Swiss Bull. angew. Geol. Vol. 14/1+2: 135-151.

Guzzetti, F., Mondini, A.C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M., Chang, K.-T. [2012]. Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth Sci. Rev.* 112, 42–66.

Hagen, K., Huber, A., Fischer, J.T., Benedetti, L. [2015]. Database of hydrologically-driven slope failures. Projektbericht MUMOLADE [Multiscale modelling of landslides and debris flows], 30 S.

Hilker N., Badoux A., Hegg C. [2009]. The Swiss flood and landslide damage database 1972–2007. *Natural Hazards and Earth System Science* 9 [3]: 913–925.

Hungr, O., Leroueil, S., Picarelli, L. [2014]. The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11/2: 167–194.

Hübl, J., Kienholz, H., Loipersberger, A. [2002]. DOMO-DIS-Dokumentation of mountain disasters. State of Discussions in the European Mountain Areas. International Research Society INTERPRAEVENT, Series 1, Manual 1, Klagenfurt [Austria], 40 pp.

Kienholz, H., Graf, C. [2000]. Kompendium: Vom Gelände zur Karte der Phänomene. Nationale Plattform Naturgefahren [PLANAT], Bundesamt für Wasser und Geologie [BWG], Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft [BUWAL], 60 S.

Kienholz, H., Krummenacher, B. [1995]. Symbolbalken zur Kartierung der Phänomene, Empfehlungen Ausgabe 1995. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft [BUWAL]. Bundesamt für Wasser und Geologie [BWG], 41 S.

Plattform Naturgefahren der Alpenkonvention PLANALP [2006]. Dokumentation von Naturereignissen, 68 S.

Rickli, C., Graf, F., Bebi, P., Bast, A., Loup, B., McArdeil, B. [2019]. Schützt der Wald vor Rutschungen? Hinweise aus der WSL-Rutschungsdatenbank, *Schweiz. Zeitschr. Fortsw.* 170[6]: 310–317.

Ruf, W. [2013]. Weiterentwicklung von StorMe - Stand der Arbeiten und Ausblick. *Agenda FAN* 1/2013: 9–11.

Schmaltz, E., Steger, S., Glade, T. [2017]. The influence of forest cover on landslide occurrence explored with spatio-temporal information. *Geomorphology* 290: 250–264.

WSL/BAFU [2018]. Dokumentation von Hangmuren und spontanen Rutschungen. Anleitung und Kommentar zum Aufnahmeformular. WSL/BAFU/AGN, 27 S.

Kontaktadresse

Christian Rickli
Gebirgshydrologie und Massenbewegungen
Eidg. Forschungsanstalt WSL
Zürcherstrasse 111
CH-8903 Birmensdorf
044 739 2403
christian.rickli@wsl.ch



Christian Rickli