

WSL-Rutschungsdatenbank : Geologische Aspekte bei der Dokumentation von flachgründigen Rutschungen und Hangmuren

Autor(en): **Rickli, Christian / Galletti, Maud / Loup, Bernard**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Swiss bulletin für angewandte Geologie = Swiss bulletin pour la géologie appliquée = Swiss bulletin per la geologia applicata = Swiss bulletin for applied geology**

Band (Jahr): **26 (2021)**

Heft 1

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-977321>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

WSL-Rutschungsdatenbank: Geologische Aspekte bei der Dokumentation von flachgründigen Rutschungen und Hangmuren

Christian Rickli¹, Maud Galletti¹, Bernard Loup², Alexandre Badoux¹, Brian McArdell¹

Keywords

Datenbank, flachgründige Rutschungen, Hangmuren, Geologie, GeoCover

Zusammenfassung

Spontane, flachgründige Rutschungen und Hangmuren sind häufige geologische Naturgefahren. Sie werden in der Regel bei starken Regenfällen an Steilhängen ausgelöst und weisen ein erhebliches Gefahrenpotential auf. Für Gefahrenbeurteilungen sind Ereignisdokumentationen wichtig. In einer Datenbank sind die detaillierten Informationen zu über 750 Rutschprozessen zusammengetragen. Zu den erfassten Informationen gehören auch verschiedene geologische Parameter. Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick über die erfassten Daten und zeigt einige Auswertungen, wobei der Fokus auf den geologischen Aspekten liegt.

Résumé

Les glissements de terrain spontanés superficiels et les coulées boueuses sont des dangers naturels géologiques fréquents. Ils sont déclenchés en règle générale par de fortes précipitations sur des pentes raides et constituent un potentiel de danger considérable. La documentation des événements est importante dans le cadre de l'évaluation des dangers. Des informations détaillées sur plus de 750 instabilités ont été compilées dans une base de données. Les informations saisies comprennent également divers paramètres en lien avec la géologie. Cet article donne un aperçu des données saisies et présente quelques analyses statistiques, en mettant l'accent sur les aspects géologiques.

1 Einleitung

Durch intensive Niederschläge werden häufig zahlreiche flachgründige Rutschungen und Hangmuren ausgelöst (Fig. 1). Derartige Schadenereignisse sind nicht nur in der Schweiz zu beobachten (Bezzola & Hegg 2007, Hilker et al. 2009) sondern auch weltweit in vielen Gebirgsregionen (z.B. Cascini et al. 2010, Kirschbaum et al. 2020). Trotz der meist kleinen Volumina können die Gefahren und die damit verbundenen Risiken erheblich sein, da die Prozesse schwierig zu prognostizieren sind - sowohl räumlich bei der Gefahrenbeurteilung und -kartierung (Loup und Wohlwend 2020) als auch zeitlich in Bezug auf Warnung und Alarmierung (z.B. Stähli et al. 2015). Der letztgenannte Aspekt hat 2018 mit dem Beschluss des Bundesrates, eine Dispositionswarnung für spontane Rutschungen und Hangmuren zu entwickeln, an Bedeutung gewonnen (LAINAT 2018). Während spontane flachgründige Rutschungen durch eine basale Scherfläche und ein überwiegend kompaktes Abgleiten der Rutschmasse gekennzeichnet sind, führt bei Hangmuren hydraulischer Grundbruch zu einer Verflüssigung beziehungsweise zu einem murgangförmigen Abgang des Lockermaterials. Die beiden Prozesse gehen graduell ineinander über (Wyss et al. 2019, Bollinger et al. 2009). Spontane flachgründige Rutschungen und Hangmuren werden nachfolgend in Vereinfachung als Rutschungen bezeichnet.

Eine gründliche Ereignisdokumentation ist für die Beurteilung der Gefahr durch Hangprozesse zentral (BABS 2014, Rickli 2019).

¹ Gebirgshydrologie und Massenbewegungen, Eidg. Forschungsanstalt WSL, 8903 Birmensdorf

² Sektion Rutschungen, Lawinen und Schutzwald, Bundesamt für Umwelt BAFU, 3003 Bern

Dabei sind vor Ort gemessene Neigungen von Rutschungen besonders wichtig für die Ausscheidung von Gefahrenzonen, z.B. bei der Bestimmung der kritischen Hangneigung i_{krit} gemäss BAFU (2016) und AGN (2004). In diesem Zusammenhang leistet die WSL-Rutschungsdatenbank wertvolle Dienste. Auch in anderen Gebirgsländern wurde die Bedeutung von entsprechenden Datenbanken zur Reduktion der Risiken erkannt (z.B. Calvello & Pecoraro 2018, Herrera et al. 2017, Rosser et al. 2017).

Ziel des vorliegenden Beitrages ist es, unser Vorgehen bei der Dokumentation von flachgründigen Rutschungen und Hangmuren nach Unwetterereignissen vorzustellen, wobei der Fokus auf den geologischen Aspekten liegt. Weiter diskutieren wir den Nutzen der Datenbank im Zusammenhang mit Gefahrenbeurteilungen und -kartierungen und beschreiben einige beispielhafte Auswertungen.

2 Ereignisdokumentation und Datenbank

Im Verlauf der letzten Jahrzehnte wurden nach Unwetterereignissen zahlreiche Rut-

schungen im Feld beurteilt und in einer Datenbank erfasst (Rickli et al. 2019, siehe auch WSL/BAFU 2019 bzw. <https://hangmuren.wsl.ch>). Zu den standardmässig erfassten Angaben gehören unter anderem die Abmessungen der Rutschungen (z.B. Mächtigkeit, Volumen), die Topographie (z.B. Neigungen, Geländeform), die Standortverhältnisse (z.B. Boden, Geologie, Vegetationsbedeckung) sowie Informationen zum Rutschmechanismus und zum Auslauf der Rutschmasse. Insgesamt werden weit über 100 Parameter im Feld erhoben. Die Datenbank enthält derzeit Informationen zu 757 Rutschungen der Jahre 1997 bis 2014 aus verschiedenen Regionen der Schweiz (Tab. 1). Bei künftigen Ereignissen mit vielen Rutschungen soll die Datenbank mit weiteren Datensätzen ergänzt werden. Dabei wird das BAFU in Absprache mit der WSL und in Abhängigkeit von Geologie und Gebiet über neue Erhebungen entscheiden. Diese können beispielsweise im Rahmen von Aufträgen des BAFU an Ingenieurbüros oder eigenständig durch die WSL erfolgen. Es sind sowohl die Dokumentation von einigen wenigen ausgewählten, besonders interessanten Rutschungen denkbar, als auch - bei primär wissenschaftlicher Zielsetzung - eine umfassende Erhebung von Instabilitäten in einem



Fig. 1: Flachgründige Rutschungen und Hangmuren in Oberiberg SZ anlässlich des Unwetters vom Juni 2007 (Foto WSL).

klar bezeichneten und abgegrenzten Perimeter. Für die Erfassung der Informationen im Feld existieren ein Formular sowie eine entsprechende Anleitung (WSL/BAFU/AGN 2018a und b, siehe auch <https://hangmuren.wsl.ch>). In Zukunft können die Daten auch mit einem Tablet PC erhoben werden.

3 Geologische Informationen in der Rutschungsdatenbank

In Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren AGN fand 2014 eine Überarbeitung, der bis dahin verwendeten Unterlagen für die Dokumentation (Feldformular und Aufnahmeanleitung) von flachgründigen Rutschungen und Hangmuren statt. Dabei wurden auch mehrere geologische Parameter ergänzt. Aktuell werden bei der Dokumentation für jeden Hangprozess nun neben vielen anderen Informationen auch die folgenden geologisch relevanten Kenngrößen erfasst (WSL/BAFU/AGN 2018a und b):

- Geologisch-tektonische Lage des Rutschunges mit den vorherrschenden Gesteinstypen im Umfeld der Rutschung gemäss tektonischer Karte der Schweiz 1:500'000
- Beschreibung des Lockergesteins mit Angabe der genetischen Einheit, der Lockergesteinsart und mit einer Feldklassifikation
- Beschreibung des Festgesteins mit Anga-

be der Lithologie sowie des Fallwinkels und -azimuts

- Angaben zur Hydrologie des Standortes mit weiteren Informationen beispielsweise zu Wasserzutritten, Drainagen, Quellfassungen oder Leitungen
- Hinweise zur Wasserführung im Untergrund, z.B. mit Angaben zu Diskontinuitäten

Im Hinblick auf eine möglichst vollständige Datenbank mussten nach der erwähnten Überarbeitung des Feldformulars die entsprechenden Informationen für die Rutschungen, welche bereits früher erfasst worden waren, nachgetragen werden. Wo möglich, erfolgte dies mittels Verschneiden der digital verfügbaren geologischen Informationen mit den Anrisskoordinaten in einem GIS (Galletti 2019). Für die Ergänzung der geologisch-tektonischen Lage und der Lithologie des Festgesteins wurden die entsprechenden Attribute der digitalen Versionen folgender Produkte verwendet: (i) der geologischen Karte der Schweiz (GK500), (ii) der geotechnischen Karte der Schweiz (GT200) und (iii) des geologischen Vektordatensatzes GeoCover (vektorisierter, geologischer Atlas der Schweiz GA25, ergänzt mit geologischen Originalkartierungen und kleinmassstäblichen Spezialkarten). Die Layer mit diesen Informationen stehen an der WSL auf einem GIS-Server zur Verfügung. Die entsprechenden Informationen sind jedoch auch öffentlich zugänglich und können auf der Website <https://map.geo.admin.ch> abgerufen werden.

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

Tab. 1: Aktueller Datenumfang der WSL-Rutschungsdatenbank: Unwetterereignisse mit vielen Rutschungen und Erhebung durch die WSL [* Erhebung im Rahmen von Diplomarbeiten mit Betreuung durch WSL; ** Erhebung durch ausgewählte Ingenieurbüros].

Im Gegensatz zur tektonischen Lage und zur Lithologie wurden die neu im Formular integrierten Angaben zur Hydrologie, zur Wasserführung im Untergrund sowie die Merkmale zur weiterführenden Beschreibung des Locker- und Festgesteins nicht systematisch in der Datenbank nachgetragen, da dies umfangreiche Felderhebungen vorausgesetzt hätte.

4 Auswertungen

Die Informationen der WSL-Rutschungsdatenbank können mit der Web-Applikation in eine Excel-Datei exportiert und ausgewertet werden. Im Folgenden sind einige Beispiele dargestellt. Es sind dies zum einen Ergebnisse zur Geologie bei den Rutschungen, welche sich durch die oben beschriebenen Ergänzungen in der Datenbank ergaben. Zum anderen werden Resultate zu den Themen Topographie, Vegetationswirkung und zum Auslauf der Hangmuren beschrieben.

Tektonische Lage und Lithologie

Figur 2 zeigt die tektonische Lage aller bisher erfassten Rutschungen. Der grösste Teil der Anrisse ereignete sich in den Gebieten der Helvetischen Decken und der verschiedenen Molasse-Typen. Aus dieser Zusammenstellung kann jedoch keine Aussage zur Disposition für Rutschungen in bestimmten Gesteinen abgeleitet werden. Da die Ereignisse der Datenbank nicht regelmässig auf der Landes-

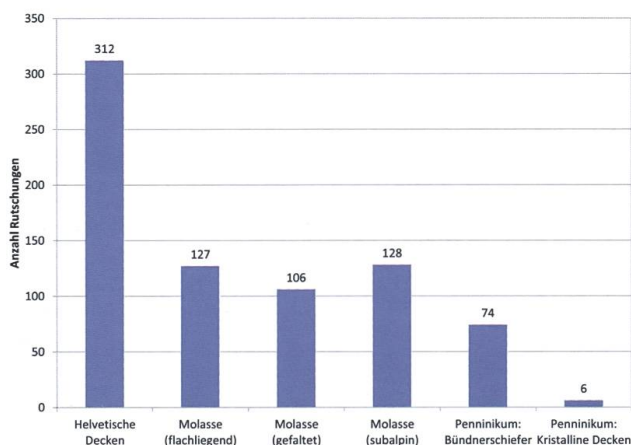


Fig. 2: Tektonische Lage der bis dato dokumentierten Rutschungen.

fläche verteilt sind, wird hier nur gezeigt, in welchen Gebieten, respektive in welchen Einheiten Unwetterereignisse dokumentiert und Erhebungen durchgeführt worden sind.

In Figur 3 sind die Neigungsbereiche der am häufigsten vorkommenden Hauptlithologien dargestellt. Der Median der Neigungen ist bei Rutschungen mit Hauptlithologie Gneis mit 38° am höchsten und im Sandstein mit 33° am niedrigsten. Auch hier ist auf die begrenzte Aussagekraft hinzuweisen. Nicht nur weil die Mediane sehr nahe beieinander liegen, sondern auch aufgrund der Lockergesteins- oder Quartärbedeckung. Die dokumentierten Rutschungen sind in der Regel nur wenige Dezimeter bis Meter mächtig (Median Mächtigkeiten = 0.6 m, siehe auch Abschnitt «Mächtigkeiten und Geometrie der Anrisse» weiter unten). Im Gegensatz dazu ist die Lockergesteinsbedeckung oft wesentlich dicker beziehungsweise bis zu Dutzenden von Metern mächtig. In solchen Fällen kann die Lithologie keinen Einfluss auf die Hanginstabilität ausüben, oder nur indirekt z.B. durch die mineralische Zusammensetzung des Lockergesteins oder durch die Wasserzirkulation. Ein Vergleich der Lithologien aller Rutschungen ist deshalb wenig relevant und sollte, wenn überhaupt, nur für Prozesse mit geringer Quartärbedeckung gemacht werden. Anhand der geologischen Karte ist eine systematische und zuverlässige Aussage zur Mächtigkeit der Lockergesteinsbedeckung jedoch schwierig.

Weiter bestehen auch Fragen hinsichtlich des Kartenmassstabs: Aufgrund des kleinen Massstabes (der grösste ist 1:25'000) im Vergleich zur Fläche der Anrisse von ein paar Dutzenden Quadratmetern (Median = 135 m^2) kann die lokale Geologie nur sehr grob beschrieben werden. Zudem existieren zwischen den verschiedenen Karten (GK500, GT200, GA25), und auch im Übergang vom einen zum anderen Kartenblatt (z.B. GA25 in GeoCover) einige Widersprüchlichkeiten in Bezug auf die Abgrenzung der Lithologien.

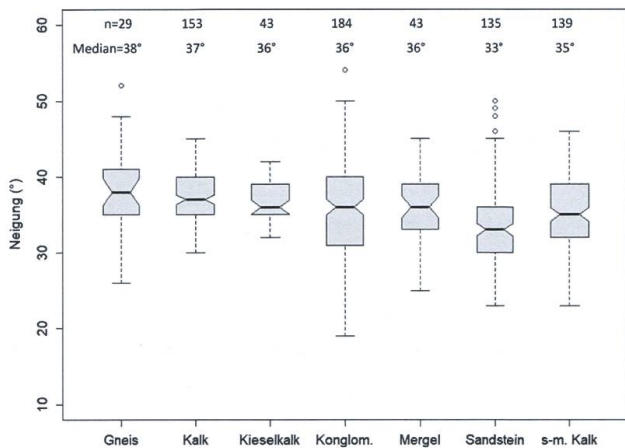


Fig. 3: Neigungsbereiche von Rutschungen in verschiedenen Hauptlithologien (Konglom. = Konglomerate, s-m. Kalk = schiefriger bis mergeliger Kalk, n = Anzahl Rutschungen).

Hangneigung und Waldwirkung

Bei Gefahrenkartierungen sind die Neigungen von dokumentierten Rutschungen in einer spezifischen Region entscheidend (siehe auch BAFU 2016). In der WSL-Rutschungsdatenbank variieren die Neigungen der bis dato erfassten Rutschungen in einem Bereich von 20 bis 50°, und am meisten Rutschungen entstanden in Gebieten mit Neigungen von 30 bis 40° (Fig. 4 a). Der Median der Neigungen von Waldrutschungen liegt um 4° über jenem der Freilandrutschungen (Fig. 4 b). Obschon sich der Wald generell eher in den steileren Gebieten befindet, kann dieser Neigungsunterschied zwischen Rutschungen im Wald und im Freiland als Hinweis für eine stabilisierende Wirkung des Waldes interpretiert wer-

den (vgl. auch Rickli et al. 2019). Deshalb, und auch in Übereinstimmung mit der Vollzugshilfe für das Gefahrenmanagement von Rutschungen, Steinschlag und Hangmuren (BAFU 2016), ist eine Bewaldung bei der Gefahrenbeurteilung unbedingt zu berücksichtigen.

Geländeform und Spuren früherer Geländebewegungen

Aus der Datenbank ergeben sich Hinweise zu weiteren möglichen Förderfaktoren für die Auslösung von Rutschungen, beispielsweise zur Geländeform und zu Anzeichen bzw. Spuren früherer Ereignisse. Werden alle bisher erfassten Ereignisse einbezogen, zeigt sich, dass viele Rutschungen in Gebieten ohne Wölbung (35%), an Versteilungen bzw. Terrassenkanten (32%) und in Rinnenlagen (17%) ausgelöst wurden. Die beiden letztgenannten Geländeformen sollten also hinsichtlich der Disposition besonders aufmerksam beurteilt werden. Ein weiteres Kriterium ist der Einbezug von Hinweisen auf frühere Ereignisse. Dieser Umstand wird durch die Informationen der Datenbank insofern bekräftigt, als dass bei mehr als 70% der bisher dokumentierten Rutschungen Anzeichen früherer Geländebewegungen zu beobachten waren. Bei mehr als der Hälfte davon waren die Anzeichen markant (insbesondere alte Rutschnischen und Rutschbuckel).

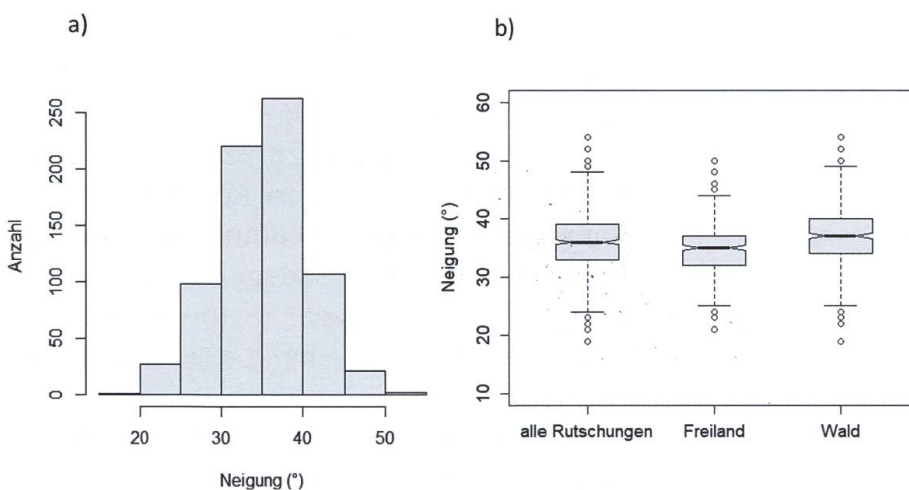


Fig. 4: a) Verteilung der Neigungen bei den bisher erfassten Rutschungen. b) Werteverteilungen der Neigungen für alle Rutschungen (Median = 36°), für Rutschungen im Freiland (Median = 34°) und für Rutschungen im Wald (Median = 38°).

Mächtigkeiten und Geometrie der Anrisse

Abgesehen von der Wahrscheinlichkeit ist bei Gefahrenkartierungen auch die Intensität der Prozesse zu bestimmen. Diese richtet sich gemäss BAFU (2016) nach den Mächtigkeiten der Anrisse und den Ablagerungshöhen zukünftiger Hangprozesse. Zu diesem Zweck können Werte aus der WSL-Rutschungsdatenbank als Referenz beigezogen werden. Die Werteverteilung der (mittleren) Mächtigkeiten aller bisher erfassten Rutschungen sieht wie folgt aus: 25%-Perzentil = 0.50 m, Median = 0.60 m, Mittelwert = 0.69 m, 75%-Perzentil = 0.80 m mit einer Standardabweichung von 0.33 m (Fig. 5 a). Aus Figur 5 b ist ersichtlich, dass die Anrissmächtigkeit mit zunehmender Neigung am Auslöseort abnimmt, wobei die Streuung erheblich ist.

Bei den meisten Rutschungen, insbesondere bei grossen, ist der Anriss länger als breit (Fig. 6). Kleine Instabilitäten mit Abmessungen bis etwa 20 x 20 m sind meist etwa gleich lang wie breit. Das durchschnittliche Verhältnis von Breite zu Länge B/L beträgt für die Gesamtheit aller Rutschungen in der Datenbank 0.82. Dabei kann eine Abhängigkeit vom Volumen festgestellt werden: Rutschungen mit Volumina $< 200 \text{ m}^3$ weisen ein B/L-Verhältnis von 0.83 auf, Rutschungen mit 200 bis $1'000 \text{ m}^3$ ein solches von 0.71 und bei grossen Rutschungen mit Volumina von $1'000$ bis $2'800 \text{ m}^3$ beträgt das Verhältnis nur noch 0.61. Nach Milledge et al. (2014) weisen Rutschungen mit einer länglichen Anrissform eine in Bezug auf die Stabilität ungünstige Geometrie auf. Entsprechende Modellrechnungen zeigen, dass potentielle Rutschkörper mit einem B/L-Verhältnis von 0.5 bis 0.3 am wenigsten stabil sind. Wieso dies so ist, kann bis jetzt nicht genau erklärt werden. Verantwortlich dafür könnten zum einen die grösseren berechneten rückhaltenden Kräfte am oberen und unteren Rand der Rutschung im Vergleich zu den Kräften an den seitlichen Rändern sein. Zum anderen liegt der Grund möglicherweise auch in der Orientierung der treibenden Kräfte (insbesondere des

Porenwasserdruckes), wobei hangabwärts grössere Werte zu erwarten sind. Zwischen dem Verhältnis von Breite zu Länge B/L und weiteren Parametern wie Neigung, Mächtigkeit oder Vegetationsbedeckung (Wald, Freiland) konnten jedoch bisher aus den Daten der WSL-Rutschungsdatenbank abgesehen von einigen Tendenzen keine signifikanten Zusammenhänge ermittelt werden.

Auslauf der Rutschmasse

Bei jeder Rutschung wurden im Feld unter anderem auch die Auslaufstrecke und das Pauschalgefälle bestimmt (jeweils vom Anriss bis zum Ende der Ablagerung gemessen). Allerdings war nur bei etwa einem Viertel der dokumentierten Rutschungen ($n = 185$) der Auslauf ungestört und reichte nicht bis in ein Gerinne. Nur bei diesen Ereignissen sind die entsprechenden Werte für Gefahrenbeurteilungen relevant. Gemäss den vorliegenden Daten werden die Pauschalgefälle mit zunehmendem Volumen tendenziell kleiner, wobei jedoch die Streuung der Daten wiederum erheblich ist (Fig. 7). Die maximalen Pauschalgefälle (obere Begrenzungslinie) liegen bei kleineren Rutschungen mit Volumen um 100 m^3 etwa bei 40° und bei Volumen um 1000 m^3 etwa bei 30° .

Ungefähr 80% der im Feld gemessenen Auslaufstrecken waren kürzer als 100 m. Allerdings wurden auch Werte bis 500 m gemessen. Aufgrund der knappen Datenlage und der grossen Streubreite sind leider keine Aussagen möglich zum Effekt weiterer Parameter wie beispielsweise des Volumens oder der Landnutzung (Wald/Freiland) auf die Länge des Auslaufes. Sind die möglichen Entstehungsorte von Hanginstabilitäten einmal bestimmt, dienen die im Feld erfassten Werte als Anhaltspunkte für die Bestimmung der Reichweiten beziehungsweise für die Abgrenzung potenzieller Ablagerungsgebiete sowie auch für die Eichung von Simulationsmodellen.

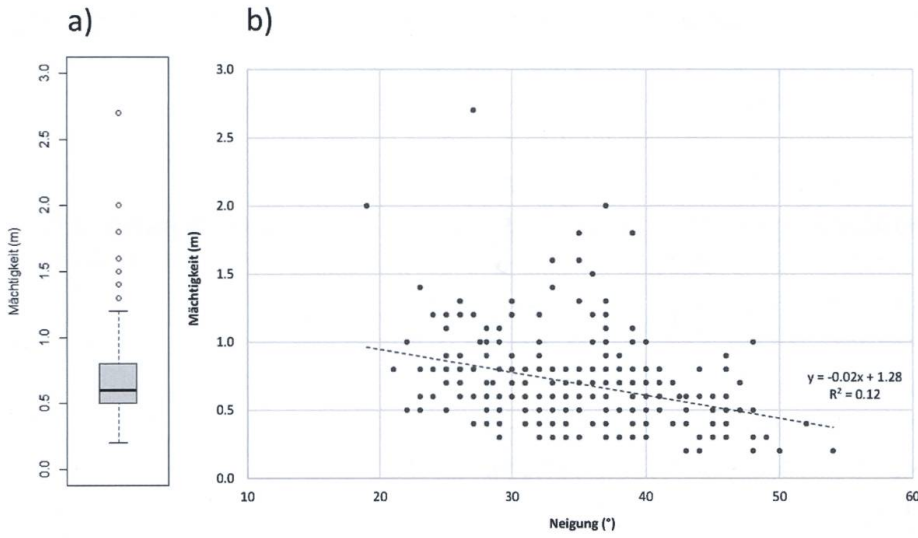


Fig. 5: a) Werteverteilung der gemessenen (mittleren) Mächtigkeiten der dokumentierten Rutschungen. b) mit zunehmender Neigung der Rutschungen wurden tendenziell kleinere Anrissmächtigkeiten beobachtet.

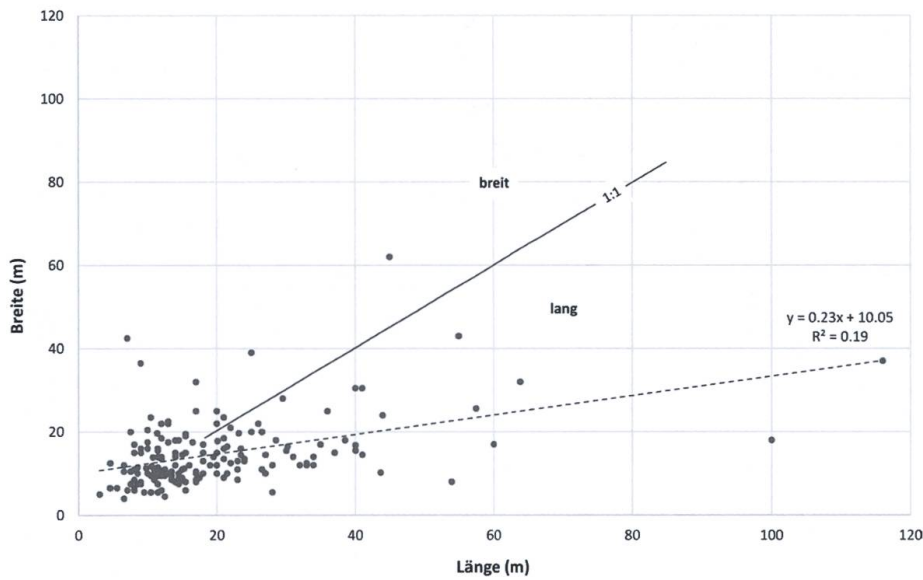


Fig. 6: Form der Rutschungsanrisse in der Datenbank: die Länge der Rutschungen ist meist grösser als die Breite.

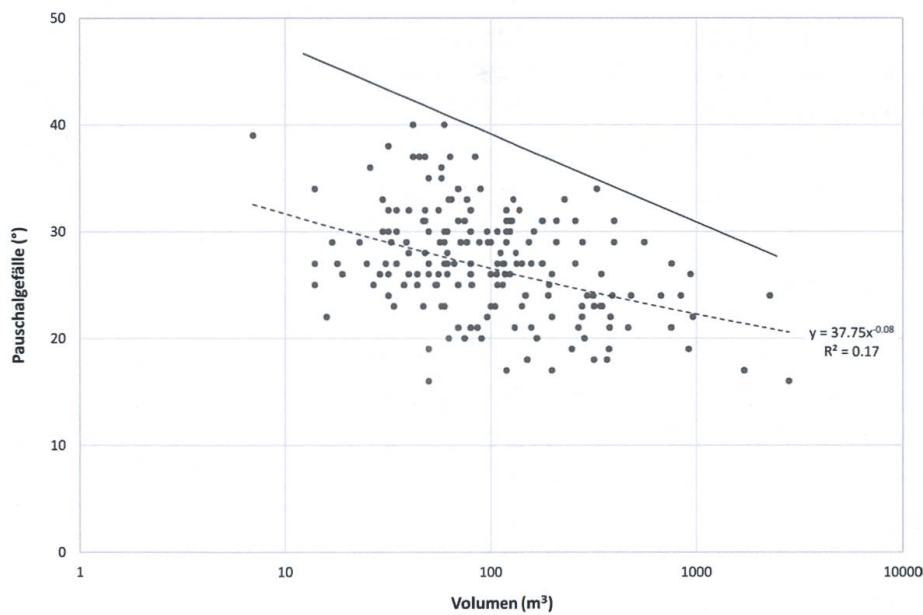


Fig. 7: Zusammenhang zwischen Pauschalgefälle und Volumen der Rutschungen in der Datenbank (n = 185). x-Achse mit logarithmischem Massstab; ausgezogene Linie: Umhüllende maximale Pauschalgefälle, unterbrochene Linie: Regressionslinie.

5 Schlussfolgerungen

Für die Erstellung von Gefahrengrundlagen ist die Kenntnis der früheren Ereignisse eine wesentliche Referenz. Eine ausführliche Dokumentation von Hanginstabilitäten nach Unwetterereignissen ist somit sehr wichtig. Dies insbesondere auch im Hinblick auf die Ausscheidung von Gefahrenzonen auf Basis kritischer Hangneigungen und der sogenannten Förderfaktoren gemäss Vollzugshilfe BAFU (2016). Im Rahmen einer Nacherfassung konnten Informationen zur tektonischen Lage und zur Lithologie in der WSL-Rutschungsdatenbank ergänzt werden. Die Datenbank beziehungsweise die entsprechende Website (WSL/BAFU 2019) ist für jedermann zugänglich und ermöglicht individuell angepasste Abfragen und Auswertungen zu verschiedenen Themen. Bei künftigen Ereignissen sollte die Datenbank nach Möglichkeit mit weiteren Felddaten ergänzt werden.

Referenzen

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

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.

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.

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

Calvello, M. & Pecoraro, G. 2018: FranelItalia: a catalog of recent Italian landslides. *Geoenviron Disasters* 5, 13.

Cascini, L., Cuomo, S., Pastor, M. & Sorbino, G. 2010: Modeling of Rainfall-Induced Shallow Landslides of the Flow-Type. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 2010, 136(1): 85-98.

Galletti, M. 2019: Hangmuren-Datenbank; Ergänzungen Geologie, Topographie und Wald. Interner WSL-Bericht (unveröffentlicht), 28 S.

Herrera, G., Mateos, R.M. & García-Davalillo, J.C. et al. 2018: Landslide databases in the Geological Surveys of Europe. *Landslides* 15, 359-379.

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.

Kirschbaum, D.B., Adler, R., Hong, Y., Hill, S. & Lerner-Lam, A. 2010: A global landslide catalog for hazard applications: method, results, and limitations. *Natural Hazards*, 52: 561-575.

Lenkungsausschuss Intervention Naturgefahren LAINAT 2018: Optimierung der Warnung und Alarmierung OWARNA: zweiter Folgebericht, 53 S. / www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-70458.html

Loup, B. & Wohlwend, S. 2020: Synthèse du cours d'automne 2019: Glissements spontanés et coulées boueuses – Où en sommes-nous? Quels besoins d'action? FAN-Agenda 2/2020, S. 45-55.

Milledge, D., Bellugi, D., McKean, J., Densmore, A. & Dietrich, W. 2014: A multidimensional stability model for predicting shallow landslide size and shape across landscapes. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 119 (11), S. 2481-2504.

Rickli, C. 2019: Dokumentation von spontanen flachgründigen Rutschungen und Hangmuren. In: Kursunterlagen FAN-Herbstkurs 2019, Fachleute Naturgefahren FAN, S. 50-56.

Rickli, C., Graf, F., Bebi, P., Bast, A., Loup, B. & Mc Ardell, B. 2019: Schützt der Wald vor Rutschungen? Hinweise aus der WSL-Rutschungsdatenbank, Schweiz. Zeitschr. Fortsw. 170(6): 310-317.

Rosser, B., Dellow, S., Haubrock, S. & Glasey, P. 2017: New Zealand's National Landslide Database. *Landslides* 14, 1949-1959.

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

WSL/BAFU/AGN 2018 b: Aufnahmeformular Rutschungen und Hangmuren, 4 S.

WSL/BAFU 2019: Datenbank flachgründige Rutschungen und Hangmuren. <https://hangmuren.wsl.ch/index.html> (abgerufen am 25.01.2021).

Wyss, R., Stricker, B., Gruner, U. & Liniger, M. 2019: Untersuchungen zur Verbesserung der Hangmurenbeurteilung. In: Kursunterlagen FAN-Herbstkurs 2019, Fachleute Naturgefahren FAN, S. 31-40.