Fazit des Herbstkurses 2019:

Umgang mit spontanen Rutschungen und Hangmuren - Wo stehen wir? Wo besteht Handlungsbedarf?

Bernard Loup [1] (bernard.loup@bafu.admin.ch)
Stephan Wohlwend [2] (stephan.wohlwend@llv.li)

1 Bundesamt für Umwelt, Sektion Rutschungen, Lawinen und Schutzwald, Bern
2 Amt für Bevölkerungsschutz, Abteilung Naturgefahren, Vaduz

Einleitung

Oberflächliche Massenbewegungen, wie spontane Rutschungen und Hangmuren sind Prozesse, die noch nicht vollständig verstanden werden. Viele Unsicherheiten, wenn auch nicht Unbekannte, sind noch vorhanden. Dies ist beispielsweise der Fall in den Bereichen der Prozesscharakterisierung, der Dynamik, der Auslösungsbedingungen, der erwarteten Einwirkungen oder der Massnahmen zur Risikominderung, um nur einige zu nennen. Um eine Bestandsaufnahme des Wissensstandes vorzunehmen und aufzuzeigen, wo noch vertieftes Wissen benötigt wird, hat die FAN ihren Herbstkurs 2019 diesem Thema gewidmet (FAN 2019).

Das Organisationskomitee des Kurses hat in der FAN-Agenda 2/2019 einen allgemeinen Rückblick zum Kurs (Ritler et al. 2019) präsentiert. Nachfolgend wird ein Überblick über die noch offenen Fragen zur Umsetzung (kantonale Fachstellen, Büros; Teil 1 nachfolgend) gegeben. Die angesprochenen Punkte werden dann durch die Antworten der Teilnehmenden auf die zu Beginn des Kurses durchgeführte "Wo brennt's"-Umfrage gestützt. Der zweite Teil enthält die Teilantworten und Erkenntnisse, die das BAFU und seine Partner im Rahmen von verschiedenen Forschungsprojekten geben konnten. Schliesslich werden unter Bezugnahme auf den Erfahrungsaustausch während des Kurses und die Ergebnisse der einleitenden Umfrage die Handlungsbedürfnisse ermittelt. Die Aspekte, die vorrangig behandelten werden sollten, sind im dritten Teil dargestellt. Einige Kommentare, die in der Kursbewertung durch die Teilnehmenden gemacht wurden, sind ebenfalls im Teil 3 enthalten.

Teil 1

Schwierigkeiten bei der Gefahrenberurteilung von spontanen Rutschungen und Hangmuren

Aus der Sicht der Praxis und der für die Umsetzung zuständigen Stellen wurden mehrere Handlungsfelder festgestellt. Eine Übersicht.

Problematik Prozessdefinition und -beurteilung

Bei beiden Teilprozessen, den kleinen spontanen Rutschungen und den Hangmuren handelt es sich um spontane Massenbewegungen. Identisch sind dabei die Kriterien zur Bestimmung der Grunddisposition für Hangmuren und kleine spontane Rutschungen. Dies trotz der unterschiedlichen Dynamik der Prozesse, denn einmal handelt es sich um einen Gleit- und einmal um einen Fliessprozess. Auch die Bestimmung der Intensitäten erfolgt für beide Prozesse aufgrund der gleichen Kriterien, der Anrissmächtigkeit oder der Ablagerungshöhe. Fazit: Eine einheitlich verwendete Definition für die beiden Teilprozesse, die Anwendung der Kriterien und die Umsetzung in die Gefahrenkarten fehlen bis heute.

Problematik Grunddisposition und Förderfaktoren

Die Bestimmung der Grunddisposition erfolgt vielfach rudimentär und verallgemeinert und deshalb grossflächig (Abbildung 1). Der Grund dafür liegt in den fehlenden Grundlagen und Untersuchungen. Denn neben der geologischen Karte, einem Ereigniskataster respektive im Feld sichtbaren stummen Zeugen fehlen meistens die Angaben zu geotechnischen Eigenschaften des Untergrundes. Dass die Aufnahme der geotechnischen Parameter fast immer den Rahmen einer Gefahrenkarte sprengen würde, ist nicht von der Hand zu weisen. Allerdings wären vielfach weitergehende Informationen wie geotechnische Gutachten, Bohrprofile, Baggerschlitze und Baugrunduntersuchungen vorhanden. Diese gilt es zwingend zu konsultieren. Um den Aufwand für diese Konsultationen zu minimieren, müssten sich die verantwortlichen Naturgefahrenfachstellen vermehrt mit der Frage beschäftigen, wie diese Informationen einem

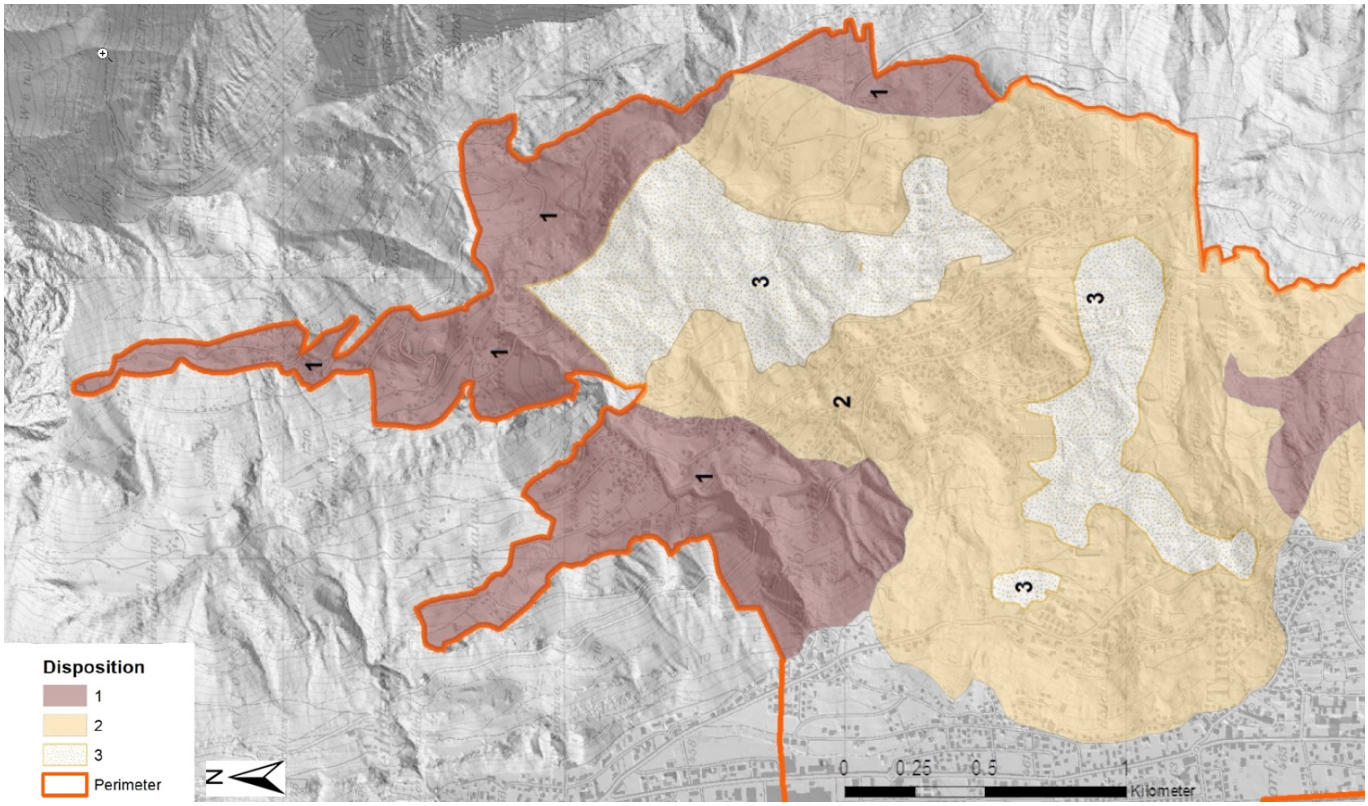


Abbildung 1: Beispiel einer grosszügigen Bestimmung der Grunddisposition.

Gutachter effizient zur Verfügung gestellt werden könnten. Ein Ansatz wären beispielsweise GIS-basierte Bohrkataster auf kantonaler oder schweizweiter Ebene.

Das System zur Bestimmung der Förderfaktoren (BAFU 2016) hilft zwar die wichtigsten Faktoren, welche die Entstehung von Hangmuren begünstigen, systematisch zu erfassen. Allerdings sind sowohl die Beschreibung des Einflusses wie auch die Definition der Einflussgrössen ungenügend. Um eine einheitliche und nachvollziehbare Beurteilung zu gewährleisten, sind weitergehende spezifische Richtwerte zu definieren.

Problematik Szenarien pro Wahrscheinlichkeitsklasse, Intensitäten und Wirkungsraum

Die Bestimmung der Wahrscheinlichkeit erfolgt mittels der Förderfaktoren, obwohl diese ereignisunabhängig definiert werden. Theoretisch ist mit diesem System also nur eine Bestimmung der Eintretenswahrscheinlichkeit möglich. Es fehlt damit die Grundlage für die Festlegung von unterschiedlichen Szenarien für unterschiedliche Ereignisgrössen. Insbesondere die offensichtliche Abhängigkeit von einem Niederschlagsereignis kann mit diesem System nicht hergestellt werden. Aufgrund dieses Mangels sind die Intensitätskarten pro Wahrscheinlichkeitsklasse vielfach ungenügend differenziert, gleichen sich oder sind gar identisch.

Die Bestimmung der Intensität eines Prozesses soll primär die mögliche Einwirkung auf ein Objekt quantifizieren. Die heutigen Kriterien ermöglichen durch die Nutzung der Anrissmächtigkeit eine einwandfreie Intensitätsbestimmung im Anrissbereich. Die Verwendung der Ablagerungshöhe im Auslaufbereich gibt die Einwirkungshöhe des Prozesses an. Diese muss jedoch nicht zwingend mit der Krafteinwirkung auf das betroffene Objekt korrelieren. Noch offensichtlicher wird dieser Umstand im Transitbereich von Hangmuren, wo sowohl die Verwendung der Anriss- wie auch der Ablagerungsmächtigkeit unzureichend ist. Zumindest für den Transit-, wie auch für den Beginn des Ablagerungsbereiches wäre die Verwendung der Kraft als Intensitätskriterium aussagekräftiger.

Eine Voraussetzung für die Bestimmung des Wirkungsraumes und damit der Reichweite ist der Entscheid, ob eine Verflüssigung der mobilisierten Masse angenommen wird. Somit wird indirekt auch die Unterscheidung vorgenommen, ob es sich beim vorliegenden Prozess um Hangmuren oder kleine spontane Rutschungen handelt. Als nächstes stellt sich die Grundsatzfrage, ob die Bestimmung der Auslaufdistanz gutachterlich erfolgen kann oder ob eine numerische Simulation bessere Resultate liefert. Die heute verfügbaren Mo-

delle können eine gutachterliche Festlegung des Wirkungsraumes sicherlich nicht zuverlässig ersetzen, aber sie können mindestens als Richtgrösse dienen. Insbesondere bei der Argumentation gegenüber betroffenen Grundeigentümer im Rahmen der Ausscheidung von Gefahrenzonen ist der Einsatz einer Simulation hilfreich.

Problematik Umsetzung in Gefahrenkarten

Die Kartierung der Gefahrenkarte Hangmuren und kleiner spontanen Rutschungen entspricht vielfach nicht derselben Massstabgenauigkeit anderer Prozesse (Abbildung 2). Verantwortlich sind die oben erwähnten Gründe: Die zu grosszügige einheitliche Grunddisposition, der unklare Einfluss der Förderfaktoren und die schwer bestimmbare Auslaufdistanz.

Neben der Schwierigkeit zur Festlegung von Intensität und Wirkungsraum führt die unterschiedliche Anwendung des Intensitäts-Wahrscheinlichkeits-Diagrammes und die Darstellung der einzelnen Teilprozesse Rutschungen auf der Gefahrenkarte zu unterschiedlichen Ergebnissen. Beim Intensitäts-Wahrscheinlichkeits-Diagramm ergeben sich die Unterschiede primär durch die geteilten Matrixfelder. Hier stellt sich vor allem die Frage, ob der Transit von Hangmuren anders zu beurteilen ist als der Auslaufbereich. Uneinheitlich ist ebenfalls die Anwendung der geteilten Felder für Hangmuren und kleine spontane Rutschungen. Teilweise werden sogar stark abweichende Intensitäts-Wahrscheinlichkeits-Diagramme verwendet (Abbildung 3).

Bei der Zusammenfassung der einzelnen Teilprozesse Hangmuren, kleine spontane Rutschungen, grosse spontane Rutschungen und permanente Rutschungen in eine einzelne Gefahrenkarte Rutschung ist sicherzustellen, dass wichtige Detailinformationen zu den

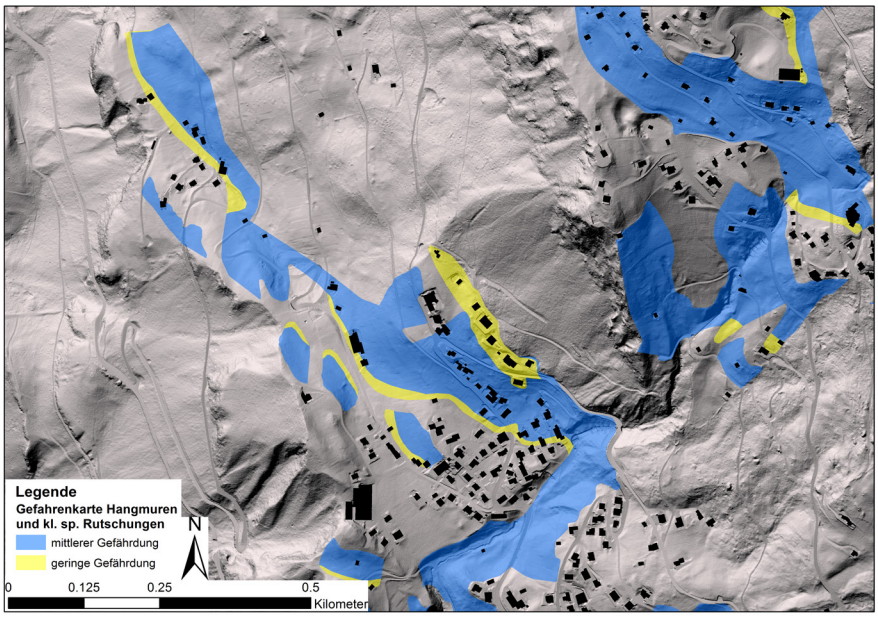


Abbildung 2: Beispiel einer grosszügigen Ausscheidung von Gefahrengebieten.

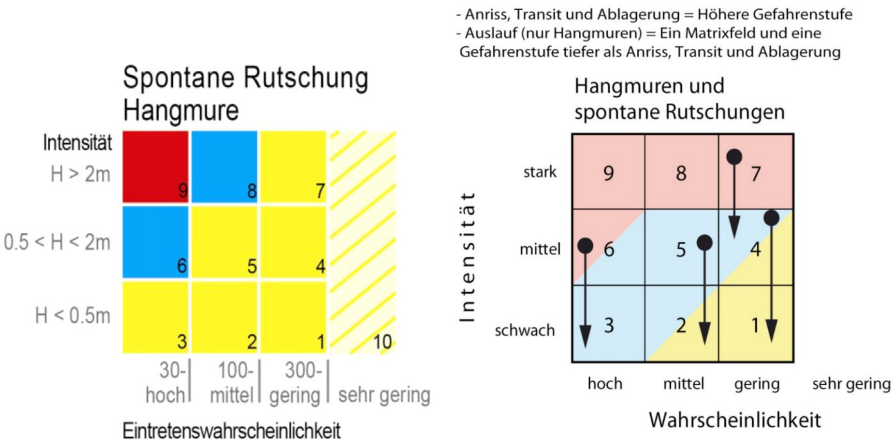


Abbildung 3: Unterschiedliche Anwendung der Matrixfelder.

Teilprozessen, die beispielsweise für Bauauflagen und Objektschutzmassnahmen nötig sind, nicht verloren gehen. Dasselbe gilt für die Intensitätskarten, wo eine mögliche Unterscheidung der Teilprozesse eine massgebliche Rolle für die Verwendung im Ereignisfall spielt, namentlich für Interventions- und Evakuationsentscheide.

Kritische Punkte laut der Umfrage "Wo brennt's"

Die oben dargelegten offenen Fragen und Herausforderungen sind nicht spezifisch für eine bestimmte Region oder eine begrenzte Gruppe von Personen, sondern scheinen von der Gemeinschaft der Fachleute als Ganzes geteilt zu werden. Dies geht zumindest teilweise indirekt aus den Ergebnissen der zu Beginn des Kurses durchgeführten "Wo brennt's"-Umfrage hervor.

Bei den vier vorgeschlagenen Aussagen äusserte eine Mehrheit ihre Unstimmigkeit, wobei zwischen 60 und 74% der Stimmen tendenziell für "stimme nicht zu" und "stimme eher nicht zu" waren (Abbildung 4). Diese

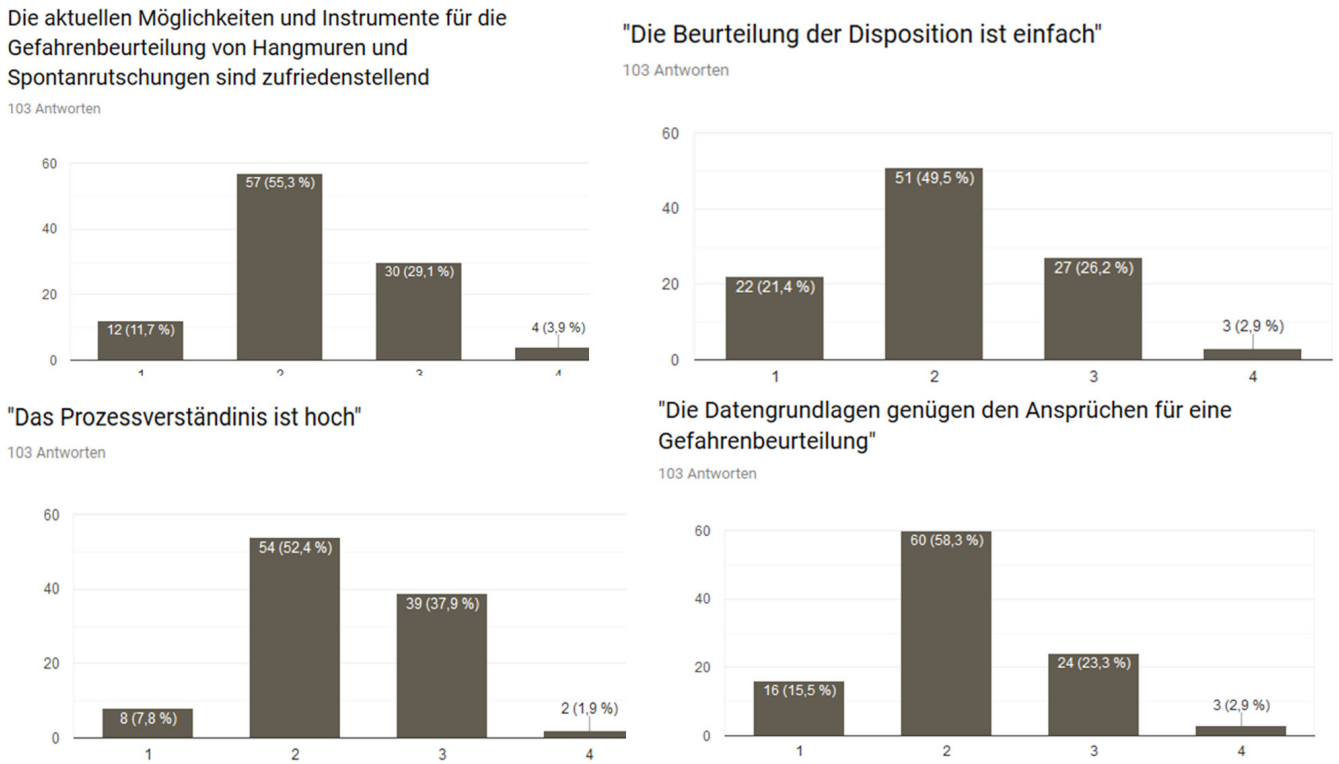


Abbildung 4: Die vier Aussagen der einleitenden Umfrage. Bei allen vier Aussagen ist ein identischer Trend zu erkennen (von 1 = stimme nicht zu bis 4 = stimme zu).

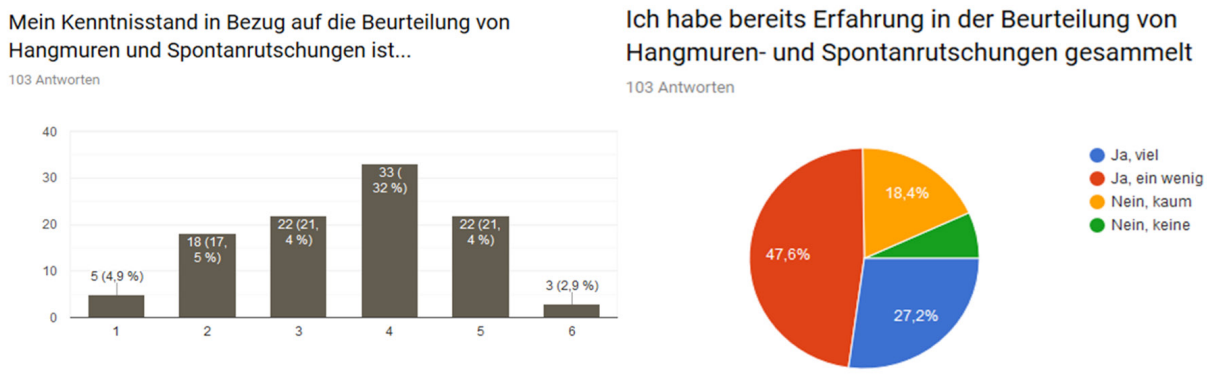


Abbildung 5: Die vier Aussagen der einleitenden Umfrage. Bei allen vier Aussagen ist ein identischer Trend zu erkennen (von 1 = stimme nicht zu bis 4 = stimme zu).

Ergebnisse spiegeln wahrscheinlich auch den sehr unterschiedlichen Kenntnis- und Erfahrungsstand der Teilnehmenden in diesem Bereich wider (Abbildung 5).

In Bezug auf die zu Beginn dieses ersten Teils und in Abbildung 4 hervorgehobenen Schwierigkeiten konnten die Teilnehmenden in einer vordefinierten Liste alle Aspekte angeben, die für sie im Rahmen des Kurses von besonderem Interesse waren (Abbildung 6). Diese Ergebnisse spiegeln die persönlichen Erwartungen und den Bedarf an mehr Fachwissen über bestimmte Bereiche wider, dies im Sinne der Weiterbildung. Abbildung 6 zeigt auch, dass das Kursprogramm den Erwartungen entsprach, was auch durch die Bewertungsumfrage nach dem Kurs bestätigt wurde.

Diese Erwartungen wurden dann durch die offene Frage "Was möchtest du aus dem Kurs mitnehmen?" noch verdeutlicht. Ohne ins Detail zu gehen, entsprechen die Erwartungen eindeutig auch den Bereichen, in denen weiterer Entwicklungsbedarf besteht. Die fast achtzig Antworten werden sehr nützlich sein, um die künftigen Handlungsbedürfnisse genauer zu bestimmen (siehe Teil 3).

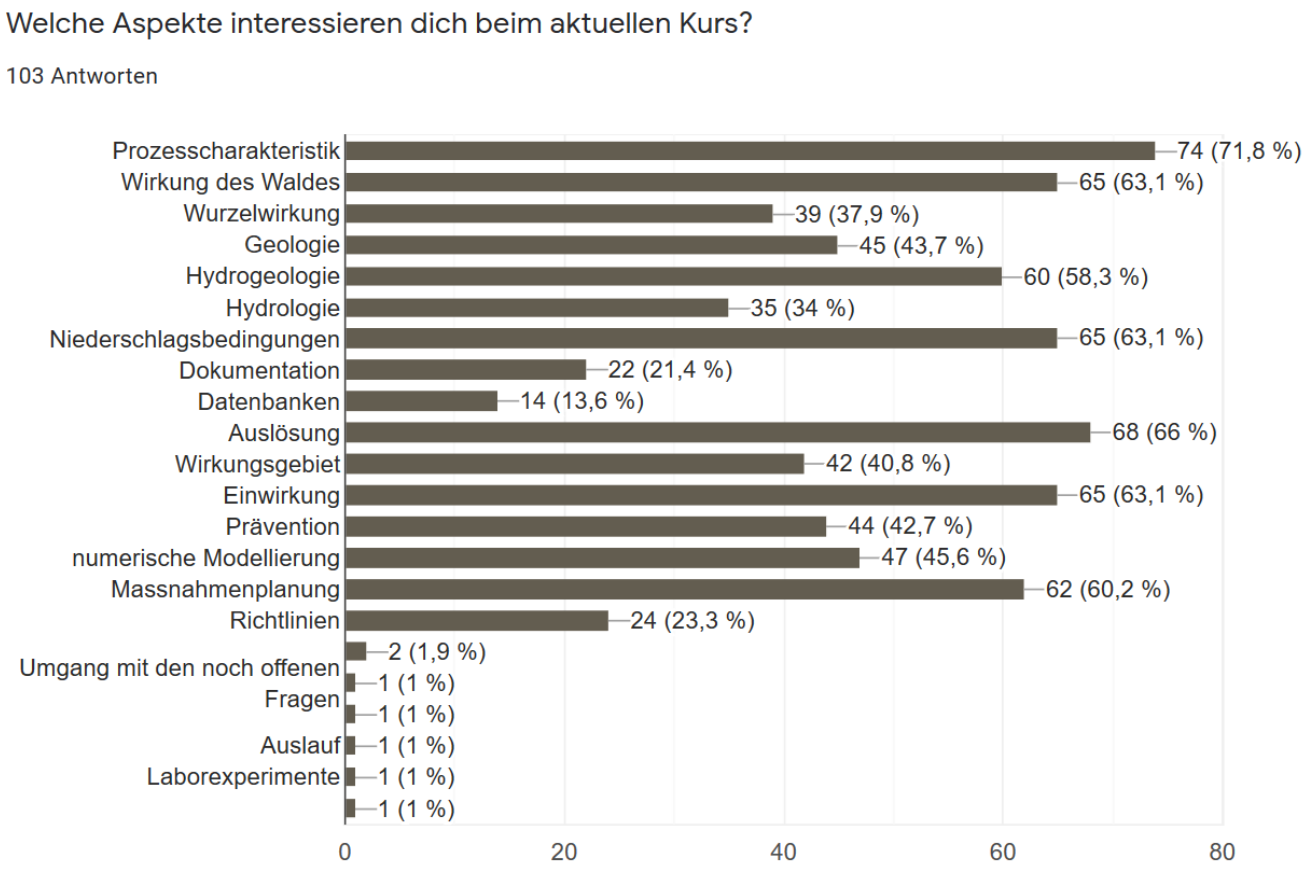


Abbildung 6: Hauptinteressen der Teilnehmenden.

Das aktuelle Referenzdokument, die Vollzugshilfe "Schutz vor Massenbewegungsgefahren" (BAFU 2016), scheint auch rund 90% der Teilnehmenden bekannt zu sein. Die Vollzugshilfe wird jedoch von weniger als 60% von ihnen genutzt. Als Gründe für die Nichtverwendung werden u.a. genannt, dass sie kein neues Wissen oder keine Lösungen zur Bestimmung der Intensitäten und Wahrscheinlichkeiten der hier behandelten Prozesse bietet.

Teil 2

Arbeiten beim BAFU

Das BAFU, und vor ihm das ehemalige Amt für Wasser und Geologie BWG, hat die Schwierigkeiten bei der Beurteilung und Berücksichtigung der hier behandelten Prozesse seit langem erkannt. Die wichtigsten Aktivitäten seit 2007 zur Lückenfüllung und die in den letzten Jahren erreichten Meilensteine wurden in der Schwägalp von Arthur Sandri in seiner Präsentation aufgezeigt und von Bernard Loup in der Zusammenfassung vom Freitag detailliert beschrieben (siehe FAN 2019 und die Präsentationen auf der FAN-Website https://fan-info.ch . Im Folgenden wird ein Überblick über diese Aktivitäten gegeben.

Zwischen 2007 und 2019 vorrangig behandelte Themen

Unter all den offenen Fragen zu den verschiedenen Themen - *wo? - Prozessart? - wann? - auslösende Bedingungen? - betroffenes Gebiet? – Einwirkungen? - Einsatz der Simulation? - Schutzmassnahmen? - Vorhersage?* - waren die prioritären Aktionen auf die folgenden Aspekte fokussiert:

- die Beurteilung der Disposition,
- die umfassende Dokumentation der Ereignisse zum besseren Verständnis der Prozesse und ihrer Eigenschaften,
- die Einwirkungen,
- der Einsatz von numerischer Simulation,
- die Vorhersage und die Warnung.

Um Antworten auf diese Fragen zu liefern, wurden zahlreiche Workshops und Austausche zwischen spezialisierten Partnern organisiert. Das BAFU hat mehrere Forschungsaufträge an Büros, Hochschulen und Berufsverbände vergeben. Das BAFU beteiligte sich auch an der Finanzierung einiger Projekte. Zu beachten ist, dass auch die Kantone Studien zur Klärung dieser offenen Punkte unternommen haben, beispielsweise in den Bereichen der Beurteilung der Disposition oder der Auslaufmodellierung.

Beurteilung der Disposition

Im Rahmen eines Auftrags des BAFU konnte die AGN die Schlüsselfaktoren zur Bestimmung der geologischen und hydrogeologischen Disposition klären. Die Studie schlägt konkrete Werkzeuge für die Feldanalyse vor. Diese Methoden ermöglichen eine feinere Differenzierung der Disposition. Für Details verweisen wir auf die Präsentation von Roland Wyss (in: FAN 2019), den vollständigen Bericht 2016, der auf der Website der SFIG verfügbar ist (AGN 2016; https://www.sfig-gsgi.ch/publikationen), sowie auf die beiden im *Swiss Bulletin für angewandte Geologie* veröffentlichten Artikel (Boll-Bilgot und Parriaux 2018; Wyss et al. 2018).

Die vom BAFU in Auftrag gegebene "Gefährdungskarte Oberflächenabfluss" ist auch ein wertvolles Dokument zur Beurteilung der möglichen räumlichen Verteilung der Hangmuren und spontanen Rutschungen. Die Verteilung dieser Prozesse zeigt eine Abhängigkeit von den bevorzugten Fliesswegen und Konzentrationen des Oberflächenwassers.

Eine Vergleichsanalyse zwischen der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss und den vom Kanton Bern in StorMe erfassten Ereignissen wurde BAFU-intern durchgeführt (W. Ruf). Diese Analyse zeigt, dass der Auslösepunkt für 55-60% der rund 3'400 Ereignissen in einer vom Oberflächenabfluss betroffenen Fläche liegt (Abbildung 7).

Es ist zu beachten, dass die Oberflächenabflusskarte in erster Linie zur Prävention von Wasserschäden erstellt wurde. Diese findet aber hier ein weiteres und vielversprechendes Anwendungsfeld, sowohl für die Beurteilung der räumlichen Verteilung als auch für die Beurteilung von Auslösebedingungen.

Dokumentation der Ereignisse

"Wer planen will, muss in die Vergangenheit schauen." Alle in einem Naturereigniskataster erfassten Informationen sind unverzichtbar, wenn es beispielsweise darum geht, Prozesse und ihre Charakteristika zu verstehen, potenziell gefährdete Gebiete abzugrenzen, Wiederkehrperioden abzuschätzen, Szenarien zu definieren, mögliche Schäden zu schätzen oder Simulationen zu kalibrieren. Mit dem Ziel, der Wissenschaft und der Praxis ein Referenzinstrument für die oben genannten Aspekte zur Verfügung zu stellen, hat das BAFU einen wesentlichen Beitrag zum Ausbau der bestehenden WSL-Datenbanken geleistet. Damit wurden die verschiedenen Ereignisreihen in einer einzigen Datenbank zusammengeführt. Die Struktur wurde auch harmonisiert und mit neuen Informationsfeldern ergänzt, vor allem im Bereich der Geologie und Hydrogeologie (Details in der Präsentation und im Artikel von Christian Rickli, in: FAN 2019).

Die Datenbank ist für alle Interessierten unter https://hangmuren.wsl.ch/login.html zugänglich. Ihre Aufschaltung wurde breit kommuniziert, insbesondere durch die FAN. Laut der Umfrage "Wo brennt's" wussten aber nur 55 % der Kursteilnehmenden von der Existenz der Datenbank, während nur 21 % sie tatsächlich nutzten. Um dieses Instrument noch leistungsfähiger zu machen, werden weitere Ereignisse entsprechend ihrem Auftreten erfasst.

Einwirkungen

Seit den *Empfehlungen zur Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten* (BRP, BWW, BUWAL 1997) werden die Mächtigkeit der mobilisierbaren Masse M und die Höhe der Ablagerung h als Intensitätskriterien verwendet (siehe auch BAFU 2016). Diese beiden Parameter haben sich stets als unbefriedigend erwiesen, da sie in keinem direkten Zusammenhang mit den tatsächlichen Einwirkungen oder Kräften stehen, die Schäden verursachen können. Um dieser Frage nachzugehen und die mit oberflächlichen Massenbewegungen verbundenen

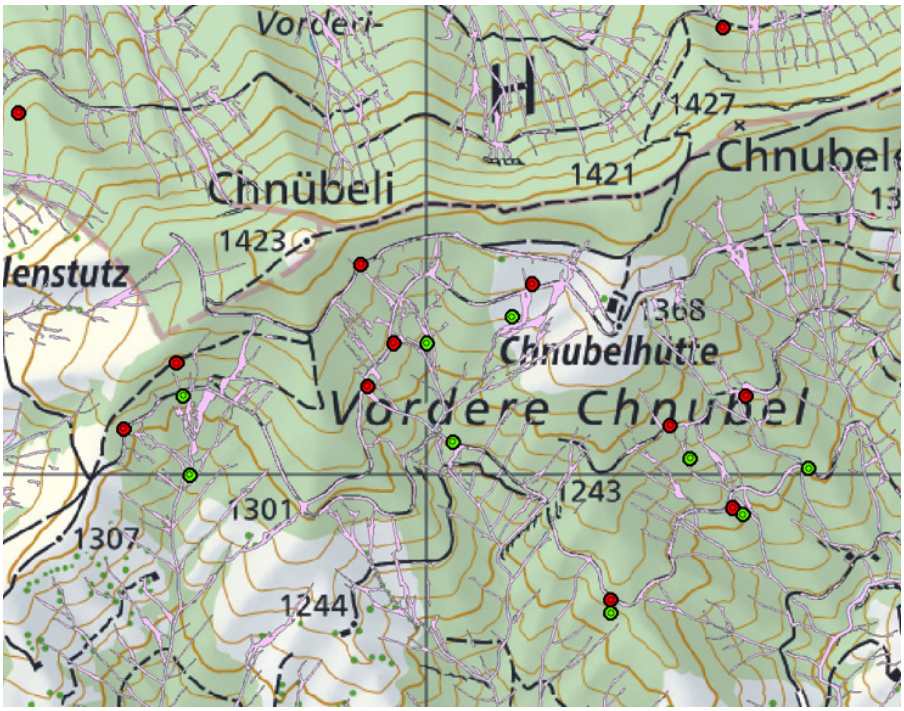


Abbildung 7: Korrelation zwischen der Oberflächenabflusskarte und den erfassten Ereignissen (StorMe-Daten des Kantons Bern, Auszug Sektor Eriz). Rot: Auslösepunkt, Grün: Stopppunkt.

Beanspruchungen besser zu verstehen, beauftragte das BAFU die Egli Eng. AG. Ziel der Studie war, die Drücke anhand gut dokumentierter Schadenereignisse zu rekonstruieren. Dies geschah zum einen durch baustatische Rückrechnung und zum anderen durch Simulation mit dem Programm RAMMS::Hillslope. Für die detaillierten Ergebnisse verweisen wir auf die Abbildungen 8 und 9, auf den Artikel von Loup et al. (2012), sowie auf die Präsentation und den Artikel von Thomas Egli (in: FAN 2019). Zusammenfassend scheint es, dass die Drücke eine hohe Variabilität aufweisen und dass dieser Parameter von vornherein ein guter Kandidat als Intensitätskriterium sein könnte. Dennoch sind weitere Untersuchungen notwendig. Diese Studie zeigte auch, dass gewisse Instrumente oder Ansätze Schwierigkeiten haben, die Realität nachzubilden.

Numerische Simulation

Auch die Frage der Simulationswerkzeuge gehört zu den Aspekten, in denen das BAFU Fortschritte erzielen wollte. Die Ergebnisse der einleitenden Umfrage "Wo brennt's" sind eher symptomatisch für die Situation: Es scheint, zumindest derzeit, kein ideales Simulationswerkzeug zu geben, das sowohl für die Disposition als auch für den Auslauf einstimmig akzeptiert wird (vgl. Überblick in der Präsentation von Brian McArdell). Ungefähr 60% der Teilnehmenden sind mit Werkzeugen für die numerische Modellierung von Disposition und Auslauf vertraut. Allerdings nutzt nur ein Viertel der Teilnehmenden solche Instrumente. Die Palette der für Dispositionsmodelle verwendeten Werkzeuge umfasst etwa 15 Anwendungen, von denen einige intern entwickelt wurden. Dasselbe gilt für Auslaufmodelle.

Eine grosse Mehrheit der Teilnehmenden (69%) stimmte zu, dass Simulationswerkzeuge eine Hilfe bei der Gefahrenbeurteilung sind. 9% waren der Meinung, dass diese Instrumente keine Hilfe anbieten. Die restlichen 22% sind neutral (mangelnde Erfahrung?) oder haben Anmerkungen:

- über die Notwendigkeit einer umfassenden Plausibilisierung und Feldverifizierung,
- über die Unfähigkeit von Modellen, die Realität richtig wiederzugeben,
- über die zu grossen Unsicherheiten bei den Modelleingabeparametern,
- über die sehr unsicheren Ergebnisse im Vergleich zu dem, was hydrologische oder Lawinenmodelle liefern können,
- über ihre relevante Anwendbarkeit nur in grossem Massstab, z.B. zur Abgrenzung von potentiell betroffenen Bereichen,
- über die Abhängigkeit der Auslaufmodelle von der korrekten Lage der Auslösezonen und der Art des beteiligten Prozesses (mit oder ohne Verflüssigung),
- über die "Gefahr", die Modelle darstellen können, wenn sie nicht rigoros angewendet

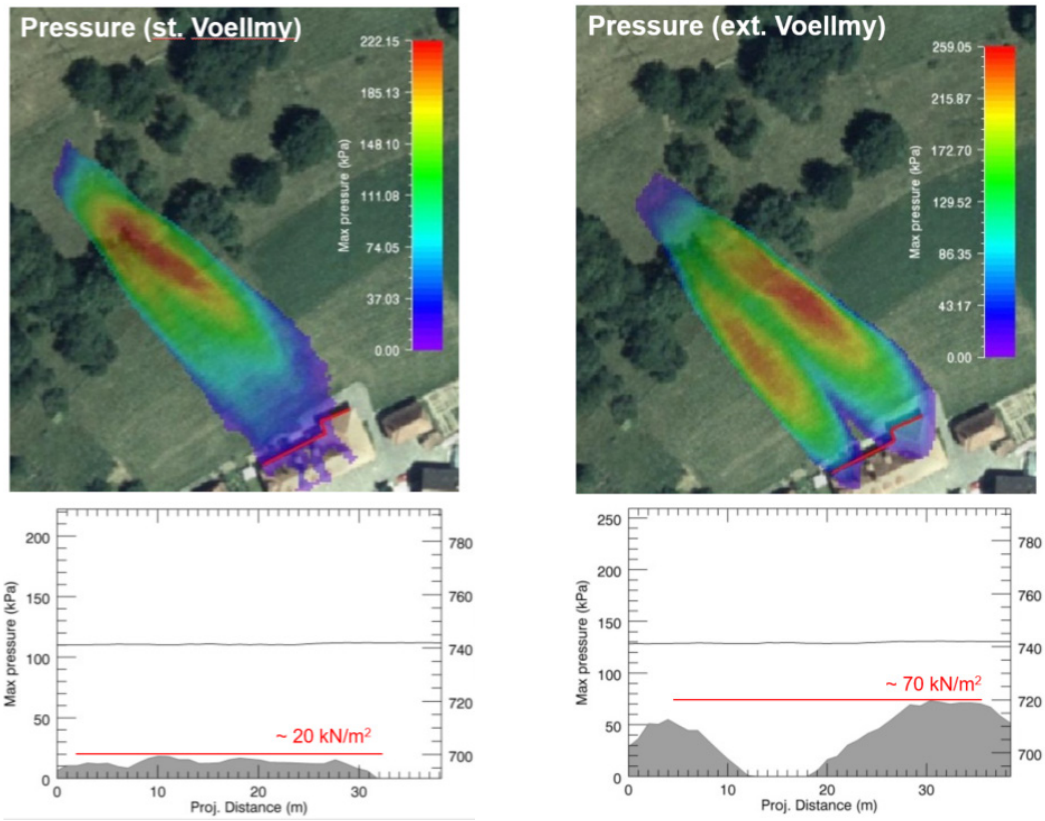
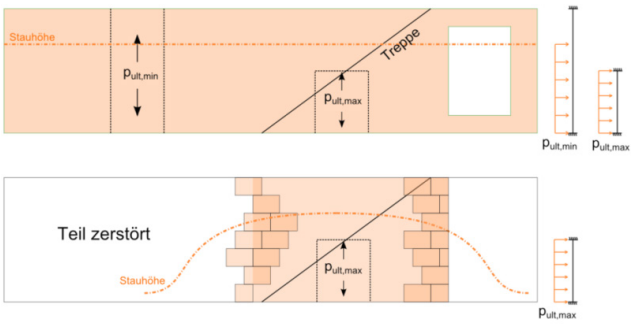


Abbildung 8: Zwei Simulationen eines Ereignisses im Juni 2010 mit RAMMS::Hillslope (Stand der Entwicklung im Jahr 2011). Links nach einem "Standard-Voellmy-Ansatz", rechts nach einem "Erweiterten Voellmy-Ansatz". Die simulierten Drücke gegen die Anströmwand betragen 20 bzw. 70 kN/m².



	p [kN/m²]	Bandbreite
$p_{ult,min}$	7	±50%
$p_{ult,max}$	40	±50%

Abbildung 9: Ergebnisse der baustatischen Rückrechnung gestützt auf den beobachteten Schäden für das Ereignis der Abbildung 8. Die rekonstruierten Drücke liegen zwischen 7 und 40 kN/m². In diesem Beispiel stimmen die Grössenordnungen zwischen den Ergebnissen der Simulation (Abb. 8) und der statischen Rückrechnung (Abb. 9) gut überein.

werden: Sie liefern in jedem Fall ein präzises und auf den ersten Blick plausibles Ergebnis und können somit eine scheinbare Genauigkeit darstellen.

Diejenigen, die meinen, dass Modelle keine Hilfe darstellen, rechtfertigen ihre Antwort nur teilweise. Vor allem ist die Hauptkritik die Schwierigkeit, die "richtigen" Parameter in das Modell einzugeben (der Begriff "Blackbox" wird mehrmals verwendet). Die Ungenauigkeit der Dispositions- und Auslaufmodellen wird auch erwähnt.

Diejenigen, die meinen, dass Modelle nützlich sind, rechtfertigen ihre Wahl im Gegenteil mit vielen Argumenten; für sie sind Modelle:

- geeignet für Übersichten (auf Stufe Hinweiskarte) oder zur Abgrenzung von Umhüllenden der Reichweiten,
- für die Abschätzung möglicher Fliesswege angepasst,
- geeignet für eine erste Beurteilung der Disposition, der möglich betroffenen Auslaufflächen, der Geschwindigkeiten und der Drücke. Voraussetzungen sind viel Erfahrung in der Anwendung und eine sorgfältige Plausibilisierung im Feld,
- notwendig in Sektoren, in denen eine Disposition vermeintlich ist, aber keine Ereignisse dokumentiert sind.

Diese Modelle erlauben weiter:

- die betroffenen Annahmen und die Beurteilung aufgrund der einzigen Feldanalyse objektiv zu kontrollieren und zu unterstützen,
- eine grobe Bewertung der Dispositionsbedingungen vorzunehmen,
- Grössenordnungen dessen anzugeben, was erwartet werden kann ("das Mögliche abzubilden"),
- vergangene Ereignisse zu reproduzieren,
- Prozesse und ihre Eigenschaften zu quantifizieren,
- die Objektivität zu verbessern und die Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten (vorausgesetzt, die Parameter sind erklärt),
- unterschiedliche Szenarien zu simulieren,
- die tatsächlichen Terraingegebenheiten besser zu erkunden, da die vom Modell geforderten Parameter es erforderlich machen, die "richtigen Fragen" im Feld zu stellen.

Schliesslich sind sich einige "Pro-Modelle" über die Grenzen dieser Instrumente für detaillierte Analysen und verlässliche Prognosen einig. Sie sind aber der Meinung, dass es besser ist, diese unvollkommenen Modelle in Kenntnis der Schwierigkeiten zu verwenden, als sich allein auf das Bauchgefühl oder den Götterblick zu verlassen (Zitat).

Wie wir sehen können, werfen die Fragen rund um die Modellierung eine breite Debatte auf. Diese lässt sich wie folgt zusammenfassen: "Modelle: Ja, ... aber ...".
Das BAFU ist sich der Schwierigkeiten bei der Simulation von spontanen Rutschungen und Hangmuren bewusst und hat die Entwicklung von RAMMS::Hillslope (Bartelt et al. 2011) unterstützt. Das BAFU beteiligt sich derzeit an der Entwicklung eines probabilistischen räumlichen Auslaufmodells ("SlideForce") durch die Fachhochschule des Kantons Bern (HAFL). Dieses Modell sollte 2021 zur Verfügung stehen

Vorhersage und Warnung

Um die Möglichkeiten eines automatischen Warnsystems für Behörden zu evaluieren und zu testen, hat das BAFU in Zusammenarbeit mit dem Kanton Wallis ein Pilotprojekt im Val d'Illiez (VS) initiiert (Chéneau und Risser 2019). Das System basiert auf der deterministischen Methodik OLPAC (Operational Landslide Prediction Alert Cartography), die auf der Berechnung der Stabilität einer unendlich

langen Böschung beruht. Das Modell integriert die wichtigsten Daten, die die Disposition beschreiben: Topographie, geotechnische und hydrogeologische Parameter, mobilisierbare Bodenmächtigkeit, Landnutzung. Es berechnet laufend den Sicherheitsfaktor in Abhängigkeit von den vergangenen Niederschlägen (Echtzeitmodul zum Zeitpunkt t). Es erstellt parallel dazu Stabilitätsvorhersagen auf der Grundlage der erwarteten Niederschläge (COSMO) zum Zeitpunkt t + 1h bis t + 6h (Prognosemodul; s. Abbildung 10). Warnungsschwellenwerte können eingestellt werden und ermöglichen einen automatischen Versand von Warnungen per SMS und E-Mail. Das Modell hat eine lange Zeit der Kalibrierung und zahlreiche Entwicklungen durchlaufen. Diese ermöglichen eine bessere Berücksichtigung der Komplexität des natürlichen Systems. Das Modell ist einsatzbereit und hat seine Reaktionsfähigkeit auf Niederschlagsereignisse bewiesen. Seine Fähigkeit, kritische Ereignisse vorherzusehen, muss nun im Laufe der Zeit validiert werden.

Mit dem Entscheid des Bundesrates zum Folgebericht OWARNA hat das BAFU unter anderem den Auftrag erhalten, eine Dispositionswarnung für Massenbewegungen einzurichten. Folglich werden sich die Aktivitäten in diesem Bereich in den kommenden Jahren deutlich intensivieren

Vollzugshilfe

In der Kurzbeschreibung der Hauptaktivitäten des BAFU seit 2007 darf die *Vollzugshilfe Schutz vor Massenbewegungsgefahren* (BAFU 2016) nicht fehlen. Im Bereich der spontanen Rutschungen und Hangmuren sind die wichtigsten Änderungen im Vergleich zu den Empfehlungen von 1997 die folgenden:

- die Formalisierung eines 5-Schritte-Vorgehens für die Beurteilung der Eintretenswahrscheinlichkeit,
- die Einführung der Förderfaktoren,
- die Kombination der Förderfaktoren mit Hangneigungskriterien zur Beurteilung der Eintretenswahrscheinlichkeit; für diesen Schritt werden zwei Ansätze vorgeschlagen.

Diese neuen Elemente können die Qualität der Gefahrenbeurteilung schon verbessern. Weitere Fortschritte müssen aber erzielt werden (siehe Teil 3). Die Vollzugshilfe wird gegebenenfalls angepasst, erst, wenn neue Ansätze und Methoden in der Praxis validiert worden sind.

Teil 3

Handlungsbedürfnisse

Es ist allen klar, dass es noch grosse Lücken gibt und dass Massnahmen ergriffen werden müssen, um diese so gut wie möglich zu schliessen. Das ist zumindest die Meinung von 87% der Anwesen-

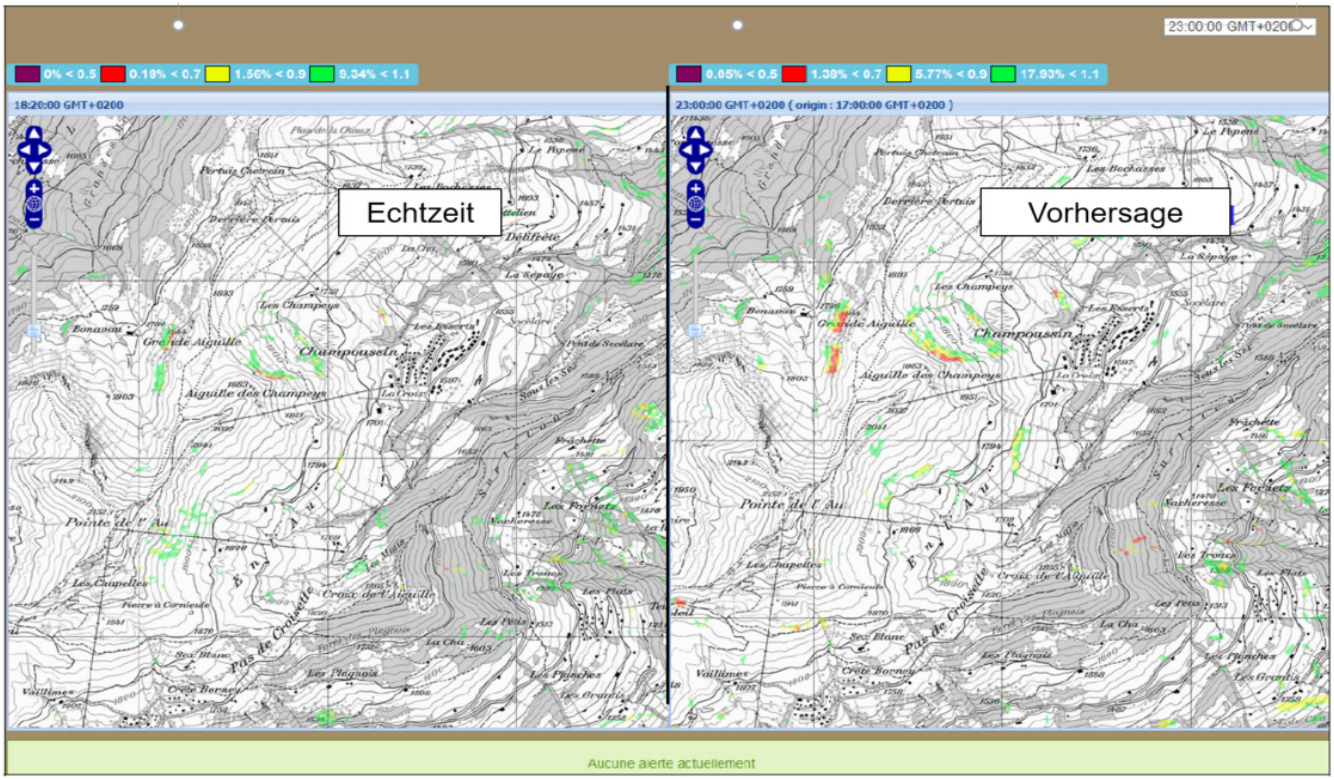


Abbildung 10: Vorhersagemodell für das Val d'Illiez. Links: Echtzeit-Stabilitätszustand, hier um 18.20 Uhr (= Zeitpunkt der Vorhersage). Rechts: Stabilitätsvorhersage für 23.00 Uhr unter Berücksichtigung der erwarteten Niederschläge; eine generelle Abnahme der Sicherheitsfaktoren (SF) wird erwartet. Die SF werden in 4 Klassen mit dem prozentualen Anteil der betroffenen Fläche bezogen auf ein vorgegebenes Referenzgebiet angegeben (Balken am oberen Rand jeder Karte).

den auf der Schwägalp (Abbildung 11).

Die Teilnehmenden haben die Themen genannt, die noch vertieft werden sollten. Die 113 gesammelten Antworten sind in Abbildung 12 nach Anzahl der Nennungen klassiert. Ein Versuch, die Themen der Abbildung 12 in verwandte Themen zu gruppieren, ist in Abbildung 13 dargestellt. Der auf diese Weise ermittelte und indirekt priorisierte Handlungsbedarf steht in perfektem Einklang mit dem Austausch von Erfahrungen und Erkenntnissen während des Kurses.

Die Teilnehmerumfrage nach dem Kurs ermöglicht es, einige dieser Themen zu klären. Einige Zitate:

- *Hatte mir vom Anlass mehr erwartet. Für die Gefahrenbeurteilung von Hangmuren und Spontanrutschungen sind wir keinen Schritt vorwärtsgekommen.*
- *Ich habe Mühe damit zu behaupten, dass ich die Prozesscharakteristik verstanden habe, wenn am Schluss nicht vollständig geklärt ist, ob Hangmure und spontaner Rutsch demselben Prozess zuzuordnen sind.*
- *Die Probleme in der Beurteilung (insbesondere Disposition und Auslösung, Eintretenswahrscheinlichkeit und Einwirkung (Intensität) bleiben bestehen.*
- *… ob wir die Gefahr und Intensitäten von Hangmuren und spontanen Rutschungen nicht grundsätzlich unterschätzen und die Gefährdung nicht korrekt in den Gefahrenkarten abgebildet ist.*
- *Und auch die in der Vollzugshilfe BAFU beschriebene Gefahrenbeurteilung ist entweder nicht umsetzbar (neues Schema/Grafik) oder beruht auf den alten und immer noch unbefriedigenden Ansätzen.*
- *Es besteht sicher weiterhin Bedarf, um die Thematik der spontanen Rutschungen / Hangmuren besser beurteilen zu können.*
- *Die ganze Prozessdynamik zwischen Auslösung und Ablagerung wurde (am Kurs) nirgends behandelt, wäre aber sehr wichtig.*

Bei der Teilnehmerumfrage nach dem Kurs wurden auch andere Aspekte angesprochen, wie z.B. die "Kluft", die - zumindest in einigen Bereichen - zwischen Wissenschaft und Praxis besteht. Für einige liefert die Wissenschaft nicht die Antworten, die die Praxis braucht. Nochmals einige Zitate:

- *Teilweise sehr wissenschaftliche Beiträge.*
- *Die wissenschaftlichen Beiträge hatten z.T. zu geringen Mehrwert für die Umsetzung in der Praxis.*
- *Diskrepanz Forschung - Praxis kam offensichtlich zu Tage, sehr gut!*
- *Wurzelwirkung war das am meisten für die Praxis präsentierte Thema. Bei allen weiteren ReferentInnen fehlte der Umsetzungsbezug.*
- *Interessant/beängstigend zu sehen, wie weit Theorie und Praxis auseinander sind. Eine Annäherung wäre wünschenswert.*
- *…. gab einen guten Eindruck a) von der aktuellen Forschung und b) der vielen Probleme der Praxis. Leider waren die beiden Teile aus meiner Sicht zu wenig "verknüpft". Eine absehbare Lösung oder Best Practice im Umgang mit den Unsicherheiten draussen, konnte ich durch die Forschungstätigkeit nicht erkennen. So gesehen war der Kurs in zwei Teilen wohl exemplarisch für die geteilte Welt Forschung - Praxis.*

Synthese

Der FAN-Kurs auf der Schwägalp war ein wichtiger Meilenstein in Richtung einer besseren Beurteilung und Berücksichtigung von (kleinen) spontanen Rutschungen und Hangmuren. Er war eine Gelegenheit, eine Bestandsaufnahme zu machen, indem einige der in den letzten Jahren durchgeführten Arbeiten vorgestellt wurden. Fortschritte wurden gemacht und weitere Arbeiten sind noch in der Entwicklung, so dass Methoden und Werkzeuge zur Verfügung stehen, um die Beurteilung der hier behandelten Prozesse bereits deutlich zu verbessern. Was sicherlich noch fehlt, ist eine einheitliche Methodik, die das Wissen und die Erfahrungen der letzten Jahre in einer praxistauglichen Form zusammenführt.

Der Kurs bot auch die Gelegenheit, die noch

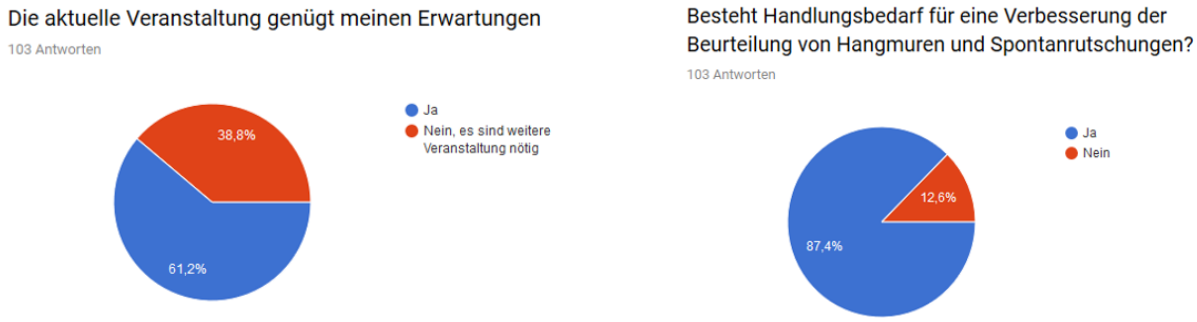


Abbildung 11: Der Kurs auf der Schwägalp hat die Erwartungen der Teilnehmenden teilweise erfüllt (linke Grafik). Eine sehr grosse Mehrheit sieht aber noch Handlungsbedarf (rechte Grafik).

bestehenden Lücken und künftigen Handlungsschwerpunkte offen zu benennen. Letztere waren den meisten Teilnehmenden zweifellos bereits bekannt. Dennoch hat der Kurs die vorrangigen Bereiche bestätigt, die nun behandelt werden sollten:

- Kriterien und Methoden zur differenzierteren Beurteilung der Disposition (einschliesslich geologische - hydrogeologische - geotechnische Parameter, Wirkung der Vegetation, Einfluss der Förderfaktoren usw.),
- Prozesscharakterisierung (einschliesslich Klassifizierung und Zusammenhänge zu den permanenten und grossen spontanen Rutschungen),
- Einwirkungen und Intensitätskriterien und -klassen,
- Bedingungen und Ablauf des Auslösungsprozesses,
- Bestimmung der Reichweiten (einschliesslich numerische Simulation),
- Vorhersage und Warnung,
- Erarbeitung und Einführung einer einheitlichen Methodik, um eine national vergleichbare Vorgehensweise zu gewährleisten.

Um die verbleibenden Lücken anzugehen und diese zu füllen, hielten 83% der Teilnehmenden die Bildung einer Arbeitsgruppe für notwendig. In diesem Zusammenhang wird es erforderlich sein, dafür zu sorgen, dass Wissenschaft und Praxis besser zusammengeführt werden. Vor allem müssen die Forschungsergebnisse in konkrete Methoden oder Instrumente für die Praxis umgesetzt werden.

Das BAFU (60%), die FAN (48%) und/oder die AGN (20%) sollten für die Steuerung zukünftiger Studien zuständig sein. Mehrere Befragte haben sich für eine Zusammenarbeit zwischen diesen Gremien ausgesprochen. Der nächste Schritt wird darin bestehen, die wichtigsten Partner zusammenzubringen, um die Agenda der künftigen Schritte und Studien festzulegen. Gegenwärtig sind die Ansprechpartner Christoph Graf für die FAN und Bernard Loup für das BAFU; die weiteren Partner sind noch zu definieren.

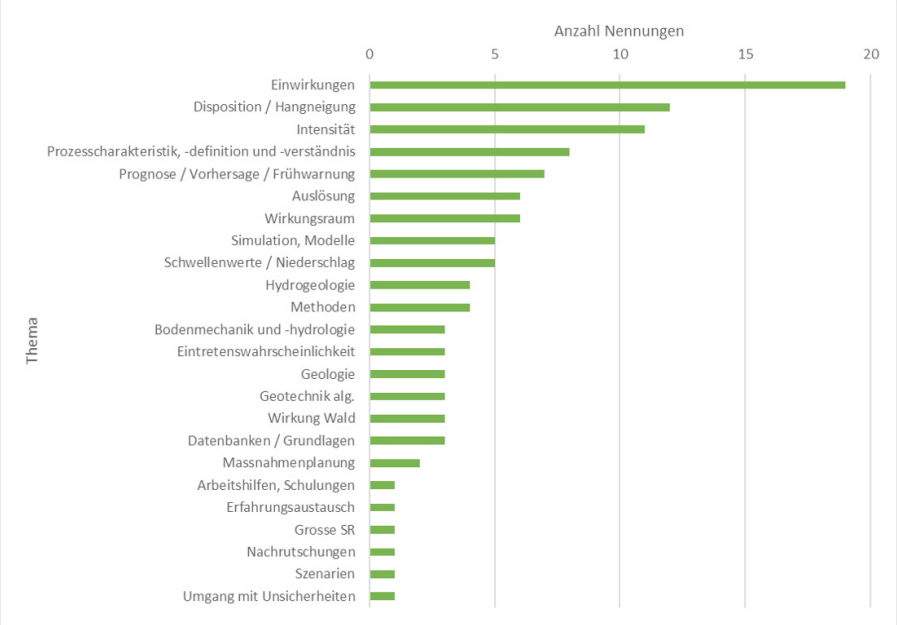


Abbildung 12: Identifizierte Handlungsbedürfnisse klassiert nach Anzahl der Nennungen.

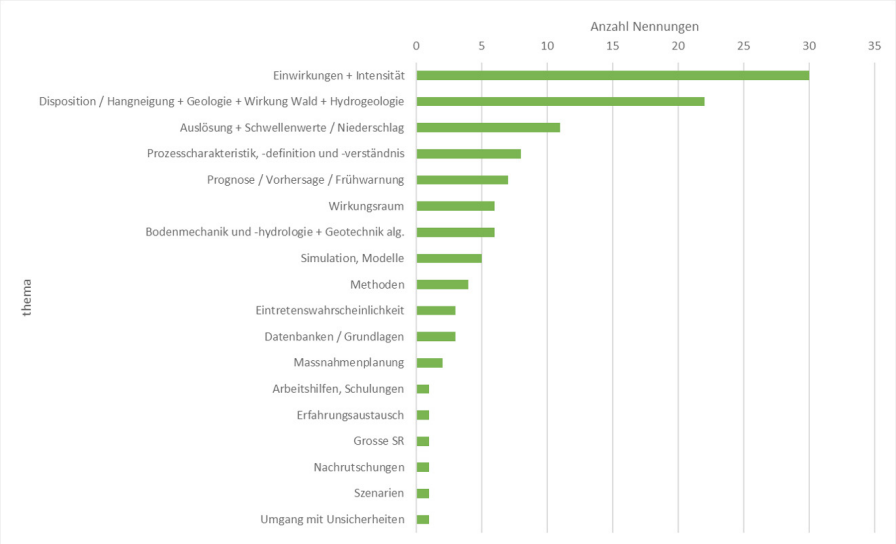


Abbildung 13: Handlungsbedürfnisse gruppiert nach verwandten Themen. Die Themen, die die meisten Stimmen erhalten haben, sind auch diejenigen, die aus der Schlussdiskussion abgeleitet werden konnten.

Literatur

AGN (2016): Verbesserung der Hangmurenbeurteilung – Arbeitsbericht 1. Phase. Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt. 91 S. + Anh. https://www.sfig-gsgi.ch/publikationen

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

Bartelt, P., Buehler, Y., Christen, M., Deubelbeiss, Y., Graf, C., McArdell, B.W. (2011): RAMMS - A modelling system for debris flows in research and practice - User Manuel v.1.01 / Hillslope debris flow. WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF: 91 S.

Boll-Bilgot, S., Parriaux, A. (2018): Méthode de caractérisation in situ des formations superficielles meubles et application à l'étude des coulées de boue. Swiss Bull. angew. Geol. 23/1, 73-89.

BRP, BWW, BUWAL 1997: Empfehlungen - Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bundesamt für Raumplanung BRP, Bundesamt für Wasserwirtschaft BWW, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern. Reihe Naturgefahren, 42 S.

Chéneau, P., Risser, V. (2019): Cartographie en temps réel et systèmes de pré-alerte pour les glissements de terrain dans les Alpes suisses: la méthode OLPAC. Swiss Bull. angew. Geol. 24/2, 55-66.

FAN (2019): Umgang mit spontanen Rutschungen und Hangmuren. Herbstkurs 2019. Kursunterlagen. 59 S.

FAN (2019): Umgang mit spontanen Rutschungen und Hangmuren. Herbstkurs 2019. Präsentationen (Internet-Seite der FAN)

Loup, B., Egli, T., Stucki, M., Bartelt, P., McArdell, B., Baumann, R. (2012): Impact pressures of hillslope debris flows – Back-calculation and simulation (RAMMS). 12th Congress Interpraevent Grenoble. Conference proceedings 225-236. http://www.interpraevent.at/palm-cms/upload_files/Publikationen/Tagungsbeitraege/2012_1_225.pdf

Ritler, S., Hunziker, G., Rickli, C., Graf, C. (2019): Rückblick Herbstkurs 2019, Schwägalp. FAN-Agenda 2/2019, 4-7.

Wyss, R., Gruner, U., Liniger, M. (2018): Verbesserung der Hangmurenbeurteilung. Swiss Bull. angew. Geol. 23/1, 57-71.